

عنوان مقالات

مقالات علمی-پژوهشی

- ۶۷۳..... بررسی تأثیر شرایط برشته کردن و بسته‌بندی بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی مغز بادام کوهی رقم *Amygdalus scoparia* L طی دوره نگهداری
مریم السادات ناظمی - سارا انصاری
- ۶۹۱..... شناسایی ترکیبات شیمیایی، پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دنیایی (*Thymus daenensis*) بر قارچ‌های مولد فساد میوه سیب
مصطفی رحمتی جنیدآباد - بهروز علیزاده بهبهانی
- ۷۰۱..... بررسی امکان تولید شیرینی مسقطی رژیمی حاوی قارچ گانودرما لوسیدیوم با جایگزینی شکر و نشاسته گندم با سوکرالوز - ایزومالت و نشاسته سیب‌زمینی توسط روش سطح پاسخ
مرتضی حیدریان - محمد گلی
- ۷۱۷..... مقایسه انرژی ویژه و بازده خشک‌کن خورشیدی تحت تأثیر نوع جمع‌کننده و بررسی برخی خصوصیات گوجه‌فرنگی خشک شده
هادی صمیمی اخیمجانی
- ۷۲۹..... تأثیر پوشش خوراکی بر پایه کیتوزان و پروتئین آب پنیر حاوی نانوکامپوزیت‌های زیستی و اسانس آویشن شیرازی بر ماندگاری پنیر فتای فراپالایش
مریم گوهرگانی - حنان لشکری - علیرضا شیرازی‌نژاد
- ۷۴۷..... اثر تخمیر بوسيله دو باکتری لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره کینوا
رعنا طهماسبی - مهتا میرزایی - محمدرضا خانی
- ۷۶۱..... بررسی خصوصیات کیفی و پروفایل اسید چرب پنیر سیاه‌مزگی غنی شده با روغن ماهی ریزپوشانی شده
انسبه نجات پیرسرایی - اسحق زکی‌پور رحیم‌آبادی - آریا باباخانی - الهام امین‌پور دافچاهی
- ۷۷۳..... ارزیابی دما و مدت زمان نگهداری بر اکسیداسیون کره بادام‌زمینی
مریم رواقی - آزاده خدابخشیان
- ۷۸۵..... بررسی تأثیر پوشش نانوامولسیون اسانس زرین گیاه در محلول کیتوزان بر ویژگی‌های کیفی گندم جوانه‌زده با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)
نسیم نجفی - هاجر عباسی

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران

با شماره پروانه ۱۲۴/۸۴۷ و درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۸۱۰ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
۸۸/۵/۱۰

آذر - دی ۱۴۰۰

شماره ۵

جلد ۱۷

درجه علمی - پژوهشی این نشریه طی نامه ۳/۱۱/۴۷۶۷۳ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تا سال ۱۳۹۳ تمدید شده است.
۹۰/۴/۱۴

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر ناصر شاهنوشی

سر دبیر: دکتر فریده طباطبایی

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر سید علی مرتضوی	استاد، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر فخری شهیدی	استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدباقر حبیبی نجفی	استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مرتضی خمیری	دانشیار، میکروبیولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر سید محمد علی رضوی	استاد، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر رضا فرهوش	استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر بی بی صدیقه فضلی بزاز	استاد، میکروبیولوژی، دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد
دکتر مهدی کاشانی نژاد	استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر آرش کوچکی	استاد، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محبت محبی	استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر بابک قنبرزاده	استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه تبریز
دکتر ایران عالمزاده	استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف
دکتر قدیر رجبزاده اوغاز	دانشیار، نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر مهیار حیدرپور	دانشیار، زیست مولکولی، دانشکده پزشکی هاروارد
دکتر حمید بهادر قدوسی	دانشیار، میکروبیولوژی غذایی، دانشگاه متروپولیتن لندن
دکتر کیانوش خسروی	استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
دکتر مرتضی عباسزادگان	استاد، ویروس شناسی، دانشگاه آریزونا
دکتر محمدامین محمدیفر	استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه دانمارک
دکتر منوچهر وثوقی	استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی - گروه علوم و صنایع غذایی - دفتر نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران.

تلفن: ۲۰-۸۷۹۵۶۱۸ داخلی ۳۲۱ نمابر: ۸۷۸۷۴۳۰

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم ایران (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

پست الکترونیکی: ifstrj@um.ac.ir

این نشریه در سایت http://jm.um.ac.ir/index.php/food_tech/index به صورت مقاله کامل نمایه شده است

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۶۷۳ بررسی تاثیر شرایط برشته کردن و بسته‌بندی بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی مغز بادام کوهی رقم *Amygdalus scoparia* L. طی دوره نگهداری
مریم السادات ناظمی - سارا انصاری
- ۶۹۱ شناسایی ترکیبات شیمیایی، پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دنايي (*Thymus daenensis*) بر قارچ‌های مولد فساد میوه سیب
مصطفی رحمتی جنیدآباد - بهروز علیزاده بهبهانی
- ۷۰۱ بررسی امکان تولید شیرینی مسقطی رژیمی حاوی قارچ گانودرما لوسیدیوم با جایگزینی شکر و نشاسته گندم با سوکرالوز - ایزومالت و نشاسته سیب‌زمینی توسط روش سطح پاسخ
مرتضی حیدریان - محمد گلی
- ۷۱۷ مقایسه انرژی ویژه و بازده خشک‌کن خورشیدی تحت تاثیر نوع جمع‌کننده و بررسی برخی خصوصیات گوجه‌فرنگی خشک شده
هادی صمیمی اخججهانی
- ۷۲۹ تاثیر پوشش خوراکی بر پایه کیتوزان و پروتئین آب پنیر حاوی نانوکامپوزیت‌های زیستی و اسانس آویشن شیرازی بر ماندگاری پنیر فتای فراپالایش
مریم گوهرگانی - حنان لشکری - علیرضا شیرازی‌نژاد
- ۷۴۷ اثر تخمیر بوسیله دو باکتری *لاکتوباسیلوس روتری* و *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره کینوا
رعنا طهماسبی - مهتا میرزایی - محمدرضا خانی
- ۷۶۱ بررسی خصوصیات کیفی و پروفایل اسید چرب پنیر سیاه‌مزگی غنی شده با روغن ماهی ریزپوشانی شده
انسبه نجات پیرسرای - اسحق زکی‌پور رحیم‌آبادی - آریا باباخانی - الهام امین‌پور دافجاهی
- ۷۷۳ ارزیابی دما و مدت زمان نگهداری بر اکسیداسیون کره بادام‌زمینی
مریم رواقی - آزاده خدابخشیان
- ۷۸۵ بررسی تاثیر پوشش نانوامولسیون اسانس زرین گیاه در محلول کیتوزان بر ویژگی‌های کیفی گندم جوانه‌زده با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)
نسیم نجفی - هاجر عباسی
- ۸۰۳ اثر صمغ قدومه شیرازی بر خصوصیات فیزیکی - شیمیایی پودر دوغ تولیدشده به روش خشک کردن پاششی
نازنین بزازیان - اکرم آریان‌فر
- ۸۱۹ ارزیابی کیفی روغن زیتون بکر تولید شده از ارقام مختلف زیتون در منطقه داراب - شیراز
لاله ارجمندفرد - شهلا شهریاری - مهرداد قوامی
- ۸۳۱ بررسی شرایط تولید پاستیل با استفاده از ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلیکا و بررسی خواص فیزیکی‌شیمیایی، رئولوژیکی و حسی آن در مقایسه با ژلاتین تجاری (گاوی)
الهام مبینی - لیلا ناطقی - محمدرضا اسحاقی
- ۸۴۹ پایداری فعالیت آنتی‌اکسیدانی محصول هیدرولیز پروتئین عدس در برابر تیمارهای حرارتی و pH
رکسانا علیزاده فیروزه - مهتا میرزایی - وجهه فدایی نوغانی

- ۸۶۳ بررسی ویژگی‌های ضدباکتریایی، آنتی‌اکسیدانی و پایداری اکسایشی روغن حاوی اسانس بذر گشنیز
نگین غظنفری- سید علی مرتضوی- فریده طباطبایی یزدی- مرتضی محمدی
- ۸۷۵ بررسی تأثیر کارواکرول بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و میکروبی هیدروژل زیستی بر پایه آرد فیلتر حاصل از فرایند آسیابانی گندم
مریم پیروموسوی- محبوبه کشیری- یحیی مقصودلو- مرتضی خمیری- مهران اعلمی
- ۸۸۹ بررسی اثر ترکیبی پودر کاهو (*sativa Lactuca*) و رازیانه (*Foeniculum vulgare*) به عنوان منبع طبیعی نیترو بر ویژگی‌های سوسپس بسته‌بندی شده تحت خلأ
زهرای یوسفی مجیر- علیرضا رحمن- مریم اوتادی
- ۹۰۵ تهیه و فرمولاسیون کره نیم‌چرب اسپرید عملگر با میکرومولسیون‌های حاوی امگا ۳
شقایق میراحسان‌پذیر- مریم قراچورلو- غلامحسن اسدی
- ۹۱۹ کاربرد ترکیبات هیدروکلوئیدی (زانتان و کربوکسی متیل سلولز) در فرمولاسیون دونات با هدف کاهش جذب روغن
حسن صباغی



مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر شرایط برشته کردن و بسته‌بندی بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی مغز بادام کوهی رقم *Amygdalus scoparia* L. طی دوره نگهداری

مریم السادات ناظمی^۱ - سارا انصاری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۴

چکیده

بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* L.) و به‌ویژه نوع برشته آن یکی از دانه‌های آجیلی حساس به اکسیداسیون است که استفاده از بسته‌بندی مناسب موجب حفاظت این دانه آجیلی از اکسید شدن، افزایش زمان ماندگاری و کیفیت آن می‌گردد. در این تحقیق تأثیر درجه برشته کردن (برشتگی روشن در ۵۰ درجه سلسیوس / ۶۰ دقیقه، برشتگی متوسط در ۱۰۰ درجه سلسیوس / ۴۵ دقیقه و برشتگی تیره در ۲۰۰ درجه سلسیوس / ۳۰ دقیقه) و همچنین وجود/عدم وجود گاز ازت در دو نوع بسته‌بندی پلی‌اتیلن و OPP-CPP (پلی‌پروپیلن خطی شده/پلی‌پروپیلن) در طول دو ماه نگهداری در ۳۷ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر تیمارهای مورد اشاره بر فاکتورهای محتوای رطوبت و چربی، سفتی بافت، میزان اندیس پراکسید، تری‌ان مزدوج، ترکیب اسید چرب و ویژگی‌های حسی مغز بادام کوهی در قالب طرح کاملاً تصادفی فاکتوریل بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات مستقل شرایط برشته کردن، بسته‌بندی و زمان نگهداری و برهمکنش شرایط برشته کردن و زمان نگهداری بر پارامترهای مورد اشاره در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. به‌علاوه برشته کردن در دمای بالاتر موجب کاهش معنی‌داری میزان رطوبت و سفتی بافت و افزایش معنی‌داری میزان چربی، پروتئین، فیبر، اندیس پراکسید و K₂₆₈ روغن گردید. هر چند افزایش پروتئین و K₂₆₈ برای نمونه‌های برشته شده در دماهای ۱۰۰ و ۵۰ و افزایش فیبر برای نمونه‌های برشته شده در دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ معنی‌دار نبود. بررسی روند تغییرات اسیدهای چرب نیز نشان داد که با برشته کردن در دمای بالاتر تنها میزان پالمیتیک اسید به‌طور معنی‌داری افزایش و میزان استئاریک اسید کاهش معنی‌داری یافت. همچنین با افزایش مدت زمان نگهداری میزان فیبر، چربی و پروتئین در ماه اول بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش و پس از آن سرعت کاهش یافت؛ این در حالی است که اندیس پراکسید و K₂₆₈ در طول دو ماه نگهداری افزایش معنی‌داری و رطوبت و سفتی بافت کاهش معنی‌داری نشان داد. در هر دمای برشته کردن بسته‌بندی‌های حاوی گاز ازت اندیس پراکسید و K₂₆₈ کمتری داشتند که در این رابطه و همچنین حفظ رطوبت، چربی، پروتئین، فیبر و بافت بادام کوهی برشته شده بسته‌های OPP-CPP عملکرد بهتری داشتند. در انتهای دوره نگهداری نمونه برشته شده در ۲۰۰ درجه سلسیوس و بسته‌بندی شده با پلی‌اتیلن/اتمسفر معمولی با اندیس پراکسید (meq O₂/kg oil) ۲۴/۶ و K₂₆₈ ۱/۹۲ ناپایدارترین و نمونه برشته شده در ۵۰ درجه سلسیوس و بسته‌بندی شده با OPP-CPP/گاز ازت با اندیس پراکسید (meq O₂/kg oil) ۵/۳ و K₂₆₈ ۱/۵۷ پایدارترین نمونه در برابر اکسیداسیون بودند. بنابر نتایج آنالیز حسی نیز بیشترین امتیاز پذیرش کلی مربوط به نمونه‌های برشته شده در دمای ۱۰۰ درجه برای ۴۵ دقیقه بود.

واژه‌های کلیدی: تیمار حرارتی، بسته‌بندی، بادام وحشی، خواص کیفی، اکسیداسیون

مقدمه

گونه‌های بومی بادام است که معمولاً در مناطق جنوبی ایران یافت می‌شود. این ماده می‌تواند به‌عنوان روغن خوراکی و یا مغز پس از تلخی‌زدایی استفاده شود. بادام کوهی، علاوه بر ارزش خود به‌عنوان منبع غذایی، کاربردهای گسترده‌ای در داروهایی مانند آنتی‌بیوتیک، ضدالتهاب، ضدباکتری و ملین دارد (Kermanshah et al., 2014). روغن مغز بادام کوهی به‌طور کلی غنی از هر دو اسیدچرب اسید اولئیک (به‌عنوان اسیدهای چرب تک غیراشباع^۳ و اسید لینولئیک (به‌عنوان تنها

بادام (*Prunus amygdalus*) از محبوب‌ترین آجیل‌های درختی جهان است که می‌تواند بر سلامتی و تغذیه انسان مفید باشد. علاوه بر ارقام معمولی بادام، بیش از سی گونه بادام وحشی در جهان وجود دارد که حدود بیست گونه در ایران گزارش شده است (Moayed et al., 2011). بادام وحشی (*Amygdalus scoparia*) یا بادامک (بادام کوهی) که تحت عنوان الوک یا مجک نیز شناخته می‌شود، یکی از

اسید چرب چند غیراشباع^۱ است. علاوه بر این، نسبت MUFA به PUFA در روغن آن (همچنین گونه‌های بادام معمولی) در مقادیر بالاتر از روغن‌های گیاهی رایج مانند سویا، روغن‌های مغزی^۲ مختلف، روغن هسته انار، انگور، خرما و کنجد می‌باشد (Moayedi et al., 2011). به دلیل دارا بودن مقدار زیاد اسیدهای چرب غیراشباع و وجود ریبوفلاوین به عنوان یک حساس کننده نوری^۳، اکسیداسیون خودبه خودی عامل اصلی ایجاد طعم نامطلوب در بادام و همچنین گونه‌های وحشی بادام است (Mexis et al., 2009).

غلظت اکسیژن یکی از مهمترین فاکتورهای خارجی موثر بر اکسیداسیون لیپید مغزها است. علاوه بر آن دمای نگهداری و نور نیز در این زمینه بسیار تاثیرگذار هستند. در حال حاضر تحقیقات متعددی در زمینه مواد و فن‌آوری‌های مناسب بسته‌بندی برای افزایش ماندگاری مغز بادام انجام شده است (Severini et al., 2003; Mexis and Padehban et al., 2018). صداقت و پژوهان مهر (۱۳۹۳) با مطالعه بسته‌بندی‌های مختلف، کیسه سه لایه پلاستیکی PET/AL/LLDPE با ضخامت ۹۰ میکرون تحت خلأ را بهترین نوع بسته‌بندی برای مغز بادام وحشی به خصوص طی دوره نگهداری در ۵۰ درجه سانتی گراد معرفی کردند. Sanchez-Bel و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر بسته‌بندی با گاز نیتروژن یا هوا بر کیفیت بادام پوست کنده و برشته شده طی انبارداری در ۲۱ درجه سلسیوس نشان دادند که تنها بخش چربی دانه تغییرات معنی‌داری را با توجه به نوع اتمسفر بسته‌بندی نشان داد و میزان اکسیداسیون لیپیدها در نمونه‌های بسته‌بندی شده در ازلت کمتر بود (Sanchez-Bel et al., 2011). بر اساس تحقیقات Padehban و همکاران (۲۰۱۸) دمای نگهداری (۴، ۲۵ و ۳۵ درجه)، نوع اتمسفر (دی اکسید کربن، خلأ و هوا) و زمان تاثیر معنی‌داری بر تغییرات هیدرولیز و پایداری اکسیداسیون روغن بادام کوهی و ویژگی‌های فیزیکی دانه دارند و استفاده همزمان از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح یافته^۴ (و پس از آن خلأ) و دمای پایین جهت حفظ کیفیت محصول طی نگهداری ضروری است.

بادام به صورت خام یا ترجیحاً برشته شده مصرف می‌شود. هدف اصلی از برشته کردن بهبود طعم، رنگ، بافت، ویژگی‌های حسی و ظاهر محصول به دلیل وقوع واکنش‌های شیمیایی و حرارتی متعدد است. در نتیجه برشته کردن غلظت ترکیبات آروماتیک فرار متعدد از طریق واکنش میلارد و اکسیداسیون لیپیدها افزایش می‌یابد. علاوه بر این برشته کردن با ایجاد بافت ترد و شکننده در بادام، قابلیت پذیرش آن از نظر مصرف کننده را افزایش می‌دهد. برشته کردن خشک به دو روش همرفتی^۵ (نظیر هوای داغ) و اشعه‌دهی (نظیر مایکروویو) انجام می‌شود. در روش همرفتی که فرایند برشته کردن معمول حرارتی است بادام در

هوای داغ ۱۰۰ تا ۱۸۰ درجه سلسیوس برای ۵ تا ۶۰ دقیقه حرارت داده می‌شود (Yang, Hojjati et al., 2016). همکاران (۲۰۱۰) در مقایسه روش‌های مختلف برشته کردن بدین نتیجه رسیدند که استفاده از ترکیب همزمان مادون قرمز و هوای داغ موجب کاهش زمان برشته کردن و تولید بادام‌های پاستوریزه با درجه زیاد و متوسط برشته‌گی گردید (Yang et al., 2010). بر اساس تحقیقات مختاری و ضیایی‌فر (۱۳۹۷) استفاده از برشته‌کن مادون قرمز با توان ۲۰۰ وات و زمان ۱۵ دقیقه، هوای داغ با دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و زمان ۳۵ دقیقه و سرخ کردن در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۲۵ دقیقه به ترتیب سه روش مناسب برای برشته کردن مغز بادام کوهی بودند (مختاری و ضیایی فر، ۱۳۹۷). حجتی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که برشته کردن بادام وحشی توسط مایکروویو (۴۸۰ وات برای ۳ تا ۴ دقیقه) موجب تولید محصولی با کیفیت فیزیکی‌شیمیایی (رنگ تیره با مقادیر بالای ترکیبات فرار) و حسی مطلوب گردید (Hojjati et al., 2016). Chodar Moghadas و Rezaei (۲۰۱۷) در بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از بادام وحشی برشته شده بدین نتیجه دست یافتند که استفاده از دمای برشته شدن ۱۴۲ درجه برای ۱۶/۵ دقیقه، pH استخراج ۵/۶۷ و زمان استخراج ۴/۶ ساعت، علی‌رغم بازدهی کمتر منجر به استخراج روغنی با کیفیت بهتر نسبت به روش معمول استخراج با حلال شد (Chodar Moghadas and Rezaei, 2017).

هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر شرایط برشته کردن و ترکیب گازی بسته‌بندی بر خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی مغز بادام کوهی طی دوره نگهداری می باشد.

مواد و روش‌ها

مغز بادام کوهی رقم *Amygdalus scoparia* L. از منطقه دشت ارژن در استان فارس (ایران) جمع‌آوری شد. مواد بسته‌بندی مورد استفاده شامل فیلم پلی اتیلنی با دانسیته پایین به ضخامت تقریبی ۷۰ تا ۷۵ میکرون و فیلم دو لایه OPP-CPP (پلی پروپیلن خطی شده/ پلی پروپیلن) با ضخامت‌های ۲۵ و ۵۰ میکرون که از شرکت شیراز نایلون تهیه گردیدند. کلیه حلال‌ها و مواد شیمیایی مورد استفاده مخصوص آنالیز شیمیایی و از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

آماده‌سازی مغز بادام کوهی

پس از چندین مرحله بوجاری، مغزهای بادام کوهی با ابعاد تقریبی یکسان (طول ۱۵/۰ ± ۱۳/۷ میلی‌متر، عرض ۸/۵ ± ۹/۵ میلی‌متر و ضخامت ۹۶/۰ ± ۴/۲۵ میلی‌متر) برای انجام آزمایش انتخاب گردید.

4 Modified atmosphere packaging (MAP)
5 Convection

1 Polyunsaturated fatty acids (PUFA)
2 Nut oil
3 Photosensitizer

اندیس پراکسید

ندیس پراکسید به عنوان شاخص محصولات اولیه اکسیداسیون طبق استاندارد ۴۱۷۹ به روش تیتراسیون یدومتری انجام گرفت (IUPAC, 1992).

تریان مزدوج

اندازه گیری تریان مزدوج به عنوان شاخص محصولات ثانویه اکسیداسیون طبق روش Kim و Labella (۱۹۸۷) بر اساس اندازه گیری جذب نوری محلول های حاوی ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ گرم روغن در ۲۵ میلی لیتر ایزواکتان در طول موج ۲۶۸ نانومتر به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (SPEKOL 1500، آلمان) انجام گرفت.

بافت

ارزیابی بافت نمونه ها با استفاده از دستگاه بافت سنج (CT3-Brookfield، آمریکا) انجام پذیرفت. آزمون بافت بر اساس تست فشردگی تک محوره با پروب با سطح مقطع استوانه ای 3-A به قطر ۳۵ میلی متر و با سرعت پروب ۲ میلی متر بر ثانیه صورت پذیرفت. مقدار نفوذ پروب تا کمپرس شدن ۴۰ درصد قطر نمونه در نظر گرفته شد. حداکثر نیروی لازم در طی آزمون فشاری برای تغییر شکل ۴۰ درصد قطر بادام کوهی بر حسب گرم تحت عنوان سفتی^۱ ثبت گردید (صدافت و همکاران، ۱۳۹۴).

ترکیب اسیدهای چرب

جهت شناسایی ترکیب اسیدچرب روغن مغز بادام کوهی از دستگاه کروماتوگرافی گازی (CP-SL-88، آمریکا) مجهز به شناساگر یونیزاسیون شعله ای استفاده گردید. برای تولید متیل استرهای اسیدچرب، به ۲۰۰ میلی گرم از نمونه روغن خالص ۱۰ میلی لیتر مخلوط متانول- استیل کلرید ۹۵ درصد اضافه شد. سپس نمونه به مدت یک ساعت در دمای ۸۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از سرد شدن نمونه ها ۵ میلی لیتر آب مقطر به روغن متیل استر شده اضافه و مخلوط حاصل به مدت ۵ دقیقه با استفاده از همزن با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه به خوبی یکنواخت شد. بعد از یکنواخت شدن با همزن، مخلوط به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس سانتریفوژ شد. سپس مایع فوقانی نمونه سانتریفوژ شده (لایه هگزان) جداسازی و به ستون BPX70 (SGE، استرالیا) با طول ۱۰۰ متر، ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرون و قطر ۰/۲۵ میلی متر تزریق گردید. دمای ستون با سرعت ۱۵ درجه سلسیوس در دقیقه از دمای ۸۰ به ۲۱۰ درجه سلسیوس رسانده شد و به مدت ۱۰ دقیقه نگهداری شد. سپس با سرعت ۳۰ درجه سلسیوس در دقیقه از دمای ۲۰۰ به ۲۲۰ درجه سلسیوس

میزان دانسیته توده ای دانه ها 0.75 ± 0.2 گرم بر سانتی متر مکعب بود. جهت تلخی زدایی نمونه ها برای سه روز متوالی به مدت دوازده ساعت در آب نمک ۴ تا ۶ درصد قرار گرفت. پس از خارج کردن نمونه ها از آب نمک، توسط فیلتر پارچه ای آب نمک سطحی آنها گرفته شد و در ادامه فرایند برشته کردن بر روی مغز بادام کوهی ها انجام شد.

برشته کردن و بسته بندی

مقدار معینی از مغز بادام تلخی زدایی شده تحت شرایط زیر در برشته کن آزمایشگاهی (SSN-2004x، صنعت سازان نام آور، ایران) مجهز به سنسور کنترل دما و فن جهت توزیع یکنواخت هوای داغ برشته شدند: دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه (برشتگی روشن) و ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۵ دقیقه (برشتگی متوسط) و ۲۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه (برشتگی تیره). نمونه های برشته شده پس از سرد شدن تا دمای اتاق، در بسته های ۱۰۰ گرمی ۱۰ در ۱۵ سانتی متری با استفاده از اتمسفر هوا (در پوشش های پلی اتیلنی شفاف) و اتمسفر اصلاح یافته حاوی گاز ازت ۹۸ درصد (در پوشش های پلی اتیلنی و OPP-CPP شفاف) با استفاده از دستگاه بسته بندی با تزریق گاز (SM-Z600-2SB، شادمهر، ایران) بسته بندی شدند. فشار نسبی گاز ازت طی فرایند بسته بندی ۷۰ کیلو پاسکال بود. از هر نمونه سه تکرار تهیه گردید که بعد از کدزنی به مدت ۲ ماه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷ تا ۸ درصد (محلول نمک فوق اشباع برومید روی) نگهداری شدند. نمونه گیری در فواصل زمانی معین هر یک ماه یکبار انجام گرفت.

ترکیب شیمیایی دانه

اندازه گیری رطوبت دانه ها با حرارت دهی نمونه ها در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت، اندازه گیری روغن دانه ها به روش سوکسله، اندازه گیری پروتئین به روش کلدال و اندازه گیری فیبر به روش وزنی شیمیایی انجام شد (AOAC, 2003).

استخراج روغن

روغن از مغز بادام وحشی طبق روش Padehban و همکاران (۲۰۱۸) با اندکی تغییر استخراج گردید. برای این منظور مغز بادام پودر شده (۵ گرم) به مدت ۳ ساعت با هگزان (۵۰ میلی لیتر) در دمای اتاق هم زده شد. پس از فیلتراسیون مخلوط، حلال باقیمانده با استفاده از روتاری اوپراتور (هایدولف، آلمان) در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تبخیر شد. روغن حاصل به یک ویال شیشه ای کوچک منتقل در دمای ۱۸- درجه سلسیوس تا زمان آزمون نگهداری گردید.

جدول ۱- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه گیری شده بادام کوهی برشته شده و بسته بندی شده در طی دوره نگهداری

تیمار	میانگین مربعات										خطا	
	درجه آزادی	رطوبت	چربی	اندریس پراکسید	تریان مزوج	بافت	پذیرش کلی	اسیدهای چرب				
								پالمیتیک اسید	پالمیتولینیک اسید	استئاریک اسید	اولئیک اسید	لینولئیک اسید
شرایط برشته کردن	۲	۶۹۳۳/۱ **	۵۳۳۶/۹ **	۳۲۰۶/۵ **	۱/۳ **	۱۱۳۸۰۱۰/۷ **	۵۶/۹ **	۱/۸۲۱ **	۱/۸۸۰-۷ **	۰/۳۱۶ **	۱/۸۶۳ **	۰/۳۲ **
بسته‌بندی	۲	۷۷۶/۱ **	۵۶۲/۵ **	۴/۸ **	۰/۰۴ **	۴۶۴۲۸۰۴/۱ **	۰/۲۲ **	---	---	---	---	---
زمان نگهداری	۲	۷۰۹۰/۰ **	۵۵۳۵/۶ **	۱۴۱۶/۹ **	۱/۶ **	۱۱۶۱۹۴۹/۱ **	۷۲/۹ **	---	---	---	---	---
برشته کردن × بسته‌بندی	۴	۱۱/۴ **	۷/۸ **	۰/۵۱ **	۰/۰۰۴ **	۱۱۳۵۴۴۸/۸ **	۰/۵۰ **	---	---	---	---	---
برشته کردن × نگهداری	۴	۱۴۷۲/۹ **	۱۱۷۱/۶ **	۵۱۵/۳ **	۰/۳۷ **	۳۷۸۹۹۰۷/۳ **	۹/۴ **	---	---	---	---	---
بسته‌بندی × نگهداری	۴	۳۸۸/۳ **	۲۸۳/۰ **	۲/۵ **	۰/۰۲ **	۳۵۵۲۵۰۸/۴ **	۰/۱۵ **	---	---	---	---	---
برشته کردن × بسته‌بندی × نگهداری	۸	۱۶/۵ **	۸/۴ **	۰/۶۰ **	۰/۰۱۲ **	۱۴۵۹۹۹۲/۳ **	۰/۹ **	---	---	---	---	---
خطا	۵۴	۳۸/۴	۸۹/۳	۱۴/۷	۰/۱۶	۹۹۸۸/۵	۲۰/۷	۰/۱۲۸	۰/۰۰۷	۰/۰۳۹	۶۹/۳	۲۸/۷۵

MS و ** به ترتیب، عدم تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح ۱٪.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی دانه ها به روش هدونیک پنج نقطه ای توسط یک گروه شامل ۳۰ نفر ارزیاب آموزش دیده از نظر ویژگی های حسی شامل طعم و بو (که رابطه مستقیم با اکسیداسیون لیپید ها دارند)، رنگ، بافت و پذیرش کلی صورت پذیرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

آزمایشات در قالب آزمون فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ عامل درجه برشته گی (۳ سطح)، نوع بسته بندی (۳ سطح) و زمان نگهداری (۳ سطح) طراحی و اجرا گردید. تمامی آزمایش ها در سه تکرار انجام شد و تجزیه و تحلیل اطلاعات با نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام پذیرفت. مقایسه میانگین ها توسط آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح آماری ۵ درصد و ۱ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی

بر مبنای تحقیق حاضر میزان چربی، پروتئین و فیبر مغز بادام کوهی خام مورد استفاده به ترتیب برابر $۰/۵ \pm ۰/۵$ ، $۰/۷ \pm ۰/۶$ و $۱۶/۲ \pm ۰/۶$ بر مبنای وزن خشک بود. نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات شرایط برشته کردن، بسته بندی و زمان نگهداری بر روی پارامترهای مورد بررسی بادام کوهی در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان داد که اثرات اصلی و برخی از اثرات فاکتورها بر روی پارامترهای اندازه گیری شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است.

رطوبت

مقدار رطوبت در مغزهای برشته شده به عنوان یک فاکتور بحرانی در نظر گرفته شده است، چرا که بر واکنش های اثرگذار بر طعم و مزه، بافت و زمان ماندگاری مغز برشته شده تأثیر زیادی دارد (مختاری و ضیائی فر، ۱۳۹۷). میزان رطوبت مغز بادام کوهی خام مورد استفاده در این پژوهش برابر $۱/۸ \pm ۴۷/۸$ درصد بود. نتایج مقایسه میانگین داده های مربوط به رطوبت در جدول ۲ آورده شده است. در تمامی نمونه های بسته بندی شده (با/ فاقد گاز ازت) دمای برشته کردن تأثیر معنی داری بر میزان رطوبت داشته، به طوری که با افزایش دمای برشته کردن میزان رطوبت به طور معنی داری کاهش یافته است ($p < 0.05$).

نمونه‌های برشته شده در حد متوسط و زیاد بسته‌بندی شده با پلی‌اتیلن (با/ فاقد گاز ازت) وجود نداشت، اما در میان نمونه‌های بسته‌بندی شده با OPP/CPP نمونه برشته شده در حد زیاد کمترین میزان رطوبت را داشت. پس به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در همه دماهای برشته کردن، نوع بسته‌بندی تأثیر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر میزان حفظ رطوبت نمونه‌ها داشته و بسته‌بندی OPP/CPP حاوی گاز ازت در همه دماهای برشته کردن میزان رطوبت را به‌طور معنی‌داری حفظ کرده است. Kosoko و همکاران (۲۰۰۹) نیز پلی‌اتیلن را در ممانعت در برابر رطوبت، فیلم‌های نسبتاً ضعیفی اعلام کردند. نتایج مشابهی توسط Kaya و Kahyaoglu (۲۰۰۶) و Prakash و Bhattacharya (۱۹۹۷) در ارتباط با رطوبت نهایی دانه کنجد و نخود گزارش شده است. این پژوهشگران نشان دادند که با افزایش دمای برشته کردن رطوبت نهایی دانه کنجد و نخود به‌ترتیب به‌طور معنی‌داری در طی فرایند برشته کردن کاهش یافت.

کاهش رطوبت محصول با افزایش دما (شدت) برشته کردن به علت تامین انرژی بالاتر در دمای ۲۰۰ درجه نسبت به دمای ۵۰ درجه سلسیوس در محصول بود.

مطابق یافته‌های Somporn و همکاران (۲۰۱۱) نیز دما و زمان تأثیر معنی‌داری ($p < 0.01$) بر افت رطوبت دانه‌های قهوه طی فرایند برشته کردن داشتند، بطوری که افت رطوبت نمونه‌های برشته شده در دمای بالاتر بیشتر بود (افت رطوبت ۸۳/۱ و ۸۵/۴٪ به‌ترتیب در قهوه‌های با برشته‌گی کم و زیاد) (Somporn et al., 2011). علاوه بر این بنا بر نتایج تحقیق حاضر، در میان نمونه‌های بسته‌بندی شده به یک روش، همواره نمونه‌های برشته شده در حد زیاد (۲۰۰ درجه سلسیوس) کمترین و نمونه برشته شده در حد کم (۵۰ درجه سلسیوس) بیشترین میزان رطوبت را داشتند (در روز صفر و ماه اول نگهداری). این در حالی است که در ماه دوم نگهداری تفاوت معنی‌داری میان رطوبت

جدول ۲- تأثیر برشته کردن بر میزان رطوبت (%) بادام کوهی بسته‌بندی شده در طی دوره نگهداری

شرایط برشته کردن	نوع بسته‌بندی	زمان نگهداری (روز)		
		صفر	۳۰	۶۰
۵۰ درجه (۶۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۳۸/۸۹ ± ۰/۹۹ aB	۳۰/۷۵ ± ۱/۰۰ bB	۲۶/۸۵ ± ۱/۱۵ cB
	PE با گاز ازت	۳۸/۸۹ ± ۰/۹۹ aB	۳۱/۴۱ ± ۰/۴۱ bB	۲۷/۰۷ ± ۰/۸۷ cB
	OPP/CPP با گاز ازت	۳۸/۸۹ ± ۰/۹۹ aB	۳۸/۰۱ ± ۱/۲۶ aA	۳۶/۵ ± ۱/۵ aA
۱۰۰ درجه (۴۵ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۳۳/۹۷ ± ۱/۱۷ aC	۳/۲ ± ۰/۱ bEF	۱/۸۵ ± ۰/۰۴ bE
	PE با گاز ازت	۳۳/۹۷ ± ۱/۱۷ aC	۳/۷۵ ± ۰/۰۵ bE	۱/۹۵ ± ۰/۰۵ cE
	OPP/CPP با گاز ازت	۳۳/۹۷ ± ۱/۱۷ aC	۱۵/۰۲ ± ۰/۲۵ bC	۱۲/۵ ± ۰/۶۰ cC
۲۰۰ درجه (۳۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۳۰/۰۰ ± ۱/۲ aD	۲/۵ ± ۰/۰۵ bF	۱/۷۵ ± ۰/۰۴ bE
	PE با گاز ازت	۳۰/۰۰ ± ۱/۲ aD	۲/۳ ± ۰/۰۹ bF	۱/۵۷ ± ۰/۰۷ bE
	OPP/CPP با گاز ازت	۳۰/۰۰ ± ۱/۲ aD	۱۳/۵ ± ۰/۵ bD	۱۱/۰۲ ± ۰/۲۲ cD

* میانگین‌های دارای حروف مشترک کوچک در هر ردیف و میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

در بررسی تأثیر زمان نگهداری نیز در کلیه تیمارها (به‌جز نمونه برشته شده در ۵۰ درجه بسته‌بندی شده با OPP/CPP) میزان رطوبت در طول زمان به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافت، که شدت این کاهش از ماه اول به دوم کمتر بود. پس از ۶۰ روز نگهداری، در نمونه‌های برشته شده در ۵۰ درجه، میزان کاهش رطوبت به میزان ۶/۱۴٪، ۳۰/۹۶٪ و ۳۰/۳۹٪ بوده است در حالی که در نمونه‌های برشته شده در ۲۰۰ درجه به میزان ۶۳/۲۷٪، ۹۴/۷۷٪ و ۹۴/۲۷٪ به‌ترتیب در نمونه‌های بسته‌بندی شده با OPP/CPP، پلی‌اتیلن حاوی گاز ازت و پلی‌اتیلن معمولی بوده است که علت آن را می‌توان به نقش موثر پوشش

در بررسی تأثیر زمان نگهداری نیز در کلیه تیمارها (به‌جز نمونه برشته شده در ۵۰ درجه بسته‌بندی شده با OPP/CPP) میزان رطوبت در طول زمان به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافت، که شدت این کاهش از ماه اول به دوم کمتر بود. پس از ۶۰ روز نگهداری، در نمونه‌های برشته شده در ۵۰ درجه، میزان کاهش رطوبت به میزان ۶/۱۴٪، ۳۰/۹۶٪ و ۳۰/۳۹٪ بوده است در حالی که در نمونه‌های برشته شده در ۲۰۰ درجه به میزان ۶۳/۲۷٪، ۹۴/۷۷٪ و ۹۴/۲۷٪ به‌ترتیب در نمونه‌های بسته‌بندی شده با OPP/CPP، پلی‌اتیلن حاوی گاز ازت و پلی‌اتیلن معمولی بوده است که علت آن را می‌توان به نقش موثر پوشش

وسیله OPP/CPP حاوی گاز ازت، بهترین نتیجه را از نظر حفظ رطوبت داشته و طول دوره نگهداری تأثیر معنی‌داری بر میزان کاهش رطوبت آن نداشته است. منطبق بر نتایج این تحقیق، Padehban و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که رطوبت بادام کوهی طی دوره نگهداری در دماهای مختلف کاهش یافت و نمونه‌های بسته‌بندی شده در اتمسفر اصلاح یافته محتوای رطوبت بالاتری نسبت به نمونه‌های بسته‌بندی شده در خلا و یا اتمسفر معمولی بویژه در انتهای دوره نگهداری داشتند. آنها این مساله را به انتقال بخار آب بالای پلی‌اتیلن مورد استفاده در بسته‌بندی با اتمسفر معمولی و خلا نسبت دادند (Padehban et al., 2018). تمامی اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه شرایط برشته کردن، بسته‌بندی و زمان نگهداری بر میزان رطوبت در سطح ۱٪ تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۲).

چربی

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است در تمامی نمونه‌های بسته‌بندی شده (با/ فاقد گاز ازت) دمای برشته کردن تأثیر معنی‌داری بر میزان چربی داشته، به‌طوری که با افزایش دمای برشته کردن میزان چربی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافته است. در میان نمونه‌های بسته‌بندی شده به یک روش، همواره نمونه‌های برشته شده در حد زیاد (۲۰۰ درجه سلسیوس) بیشترین و نمونه برشته شده در حد کم (۵۰ درجه سلسیوس) کمترین درصد چربی را داشتند. این در حالی است که پس از یک و دو ماه نگهداری در هر یک از روش‌های بسته‌بندی، اختلاف معنی‌داری میان میزان چربی نمونه‌های برشته شده در حد

متوسط و زیاد وجود نداشت ($p > 0.05$). دلیل افزایش چربی در دانه‌های برشته شده مربوط به اثر حرارت خشک (برشته کردن) در آسیب رساندن به غشای سلول و نیز دناتوراسیون پروتئین‌ها بود که منجر به رهاسازی و استخراج بیشتر روغن از دانه‌های روغنی گردید. گفته می‌شود که استفاده از نمک یا برشته کردن بدون هر گونه افزودنی باعث کاهش پایداری چربی‌ها می‌گردد. Arinola و Adesina (۲۰۱۴) نیز افزایش چربی گردوی آفریقایی با برشته کردن و جوشاندن را به این مساله نسبت دادند (Arinola and Adesina, 2014). در پژوهش قربانی و همکاران (۱۳۹۷) فندق برشته نسبت به نمونه خام آن به علت تخریب پروتئین درصد روغن بالاتری داشت (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷). Hojjati و همکاران (۲۰۱۶) افزایش روغن بادام کوهی پس از برشته شدن با میکروویو را به تأثیر این حرارت در تبخیر آب از ساختار بادام کوهی، افزایش فشار ساختار داخلی، تخریب دیواره سلولی و تسهیل استخراج روغن از آن نسبت دادند (Hojjati et al., 2016). در بررسی تأثیر زمان نگهداری نیز در کلیه تیمارها در طول زمان میزان چربی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت، که شدت این افزایش از ماه اول به دوم کمتر بود. این مساله را می‌توان به تأثیر بیشتر حرارت بر غشای سلولی (به دلیل افت بیشتر رطوبت) و رهاسازی چربی از سلول و بنابراین افزایش بیشتر چربی دانه در زمان‌های ابتدایی نگهداری (از زمان صفر تا ماه اول) نسبت داد. به‌طور مشابه Koyuncu (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند که میزان چربی کل فندق طی ۱۲ ماه نگهداری در ۲۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۶۵ درصد از ۵۸/۶۸٪ به ۶۲/۴۸٪ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Koyuncu, 2004).

جدول ۳- تأثیر برشته کردن بر میزان چربی (٪) بادام کوهی بسته‌بندی شده در طی دوره نگهداری

شرایط برشته کردن	نوع بسته‌بندی	زمان نگهداری (روز)		
		صفر	۳۰	۶۰
۵۰ درجه (۶۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۱۳/۳۰ ± ۰/۳۰ cC	۱۹/۴۶ ± ۰/۶۶ bC	۲۲/۹۷ ± ۰/۴۷ aC
	PE با گاز ازت	۱۳/۳۰ ± ۰/۳۰ cC	۲۰/۶۷ ± ۱/۱۷ bC	۲۴/۲۳ ± ۰/۷۳ aC
	OPP/CPP با گاز ازت	۱۳/۳۰ ± ۰/۳۰ bC	۱۴/۱۵ ± ۰/۶۵ bD	۱۵/۴۲ ± ۰/۲۰ aD
۱۰۰ درجه (۴۵ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۱۷/۳۸ ± ۰/۳۸ cB	۴۳/۱۴ ± ۱/۱۴ bA	۴۵/۷۸ ± ۰/۷۵ aA
	PE با گاز ازت	۱۷/۳۸ ± ۰/۳۸ bB	۴۴/۴۲ ± ۲/۵۰ aA	۴۵/۹۲ ± ۲/۶۴ aA
	OPP/CPP با گاز ازت	۱۷/۳۸ ± ۰/۳۸ cB	۳۴/۷۵ ± ۱/۱۳ bB	۳۶/۷۸ ± ۱/۲۶ aB
۲۰۰ درجه (۳۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۲۰/۹۷ ± ۰/۷۷ bA	۴۵/۰۵ ± ۱/۵۴ aA	۴۶/۱۰ ± ۱/۱۰ aA
	PE با گاز ازت	۲۰/۹۷ ± ۰/۷۷ bA	۴۵/۴۹ ± ۲/۸۰ aA	۴۶/۲۷ ± ۲/۵۴ aA
	OPP/CPP با گاز ازت	۲۰/۹۷ ± ۰/۷۷ bA	۳۶/۱۳ ± ۱/۱۰ aB	۳۷/۳۶ ± ۱/۴۵ aB

* میانگین‌های دارای حروف مشترک کوچک در هر ردیف و میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

نمونه‌ها داشته‌اند. از میان اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه، اثر بسته‌بندی و زمان نگهداری و نیز شرایط برشته کردن و زمان نگهداری بر میزان چربی محصول در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر یک رابطه منفی میان میزان رطوبت و روغن بادام کوهی برشته شده وجود دارد (جدول ۴). در واقع برشته کردن منجر به کاهش میزان رطوبت شده است، در حالی که دیگر ترکیبات نظیر چربی، پروتئین و فیبر به ترتیب به مقادیر $۱۳/۳۰-۲۰/۹۷$ ($R^2=0.98-1.00$)، $۱۸/۰۲-۱۹/۶۸$ ($R^2=0.80-0.99$) و $۱۸/۲۰-۱۶/۱۲$ ($R^2=0.84-1.00$) درصد افزایش یافته‌اند. حجتی و همکاران (۲۰۱۶) نیز در پژوهش خود عنوان کردند که یک رابطه منفی معنی‌دار ($p<0.05$) میان رطوبت و روغن بادام‌های وحشی برشته شده با میکروویو وجود داشت (Hojjati et al., 2016) ($R^2=0.81$).

در بین تیمارهای مختلف، برشته کردن در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و بسته‌بندی OPP/CPP حاوی گاز ازت میزان چربی را در طول دوره نگهداری به صورت بهتری حفظ نمود و مانع از تغییرات شدید در آن شد. این مساله را می‌توان به ممانعت بالای فیلم OPP/CPP در برابر انتقال رطوبت و به تبع آن تغییرات چربی محصول نسبت داد. Macedo و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که جذب رطوبت در گرانولای بسته‌بندی شده به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر زمان ذخیره‌سازی و ماده بسته‌بندی بود که در این میان فیلم BOPP بهترین مانع در برابر جذب رطوبت تحت شرایط تسریع یافته (دمای ۳۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد) بود (Macedo et al., 2013). گاز ازت تأثیر معنی‌داری بر میزان چربی نداشت ($p>0.05$). پس به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نوع بسته‌بندی، دمای برشته کردن و مدت زمان ماندگاری تأثیر معنی‌داری ($p<0.01$) بر میزان چربی

جدول ۴- معادلات خطی برازش یافته برای تغییرات رطوبت با چربی، پروتئین و فیبر مغز بادام کوهی برشته و بسته‌بندی شده در شرایط مختلف طی دوره نگهداری

شرایط برشته کردن	نوع بسته‌بندی	رابطه رطوبت با چربی	رابطه رطوبت با پروتئین	رابطه رطوبت با فیبر
۵۰ درجه (۶۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	$y = -0.8187x + 45.149$ ($R^2=1$)	$y = -0.1661x + 24.485$ ($R^2 = 0.999$)	$y = -0.257x + 26.111$ ($R^2 = 1$)
	PE با گاز ازت	$y = -0.9129x + 48.743$ ($R^2=1$)	$y = -0.1918x + 25.509$ ($R^2 = 0.995$)	$y = -0.261x + 26.213$ ($R^2 = 1$)
	OPP/CPP با گاز ازت	$y = -0.9695x + 50.859$ ($R^2=0.989$)	$y = -0.1176x + 22.65$ ($R^2 = 0.732$)	$y = -0.4542x + 33.973$ ($R^2 = 0.845$)
۱۰۰ درجه (۴۵ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	$y = -0.8717x + 46.96$ ($R^2=0.998$)	$y = -0.1552x + 23.929$ ($R^2 = 0.980$)	$y = -0.2211x + 24.79$ ($R^2 = 0.914$)
	PE با گاز ازت	$y = -0.862x + 47.35$ ($R^2=0.999$)	$y = -0.1575x + 24.287$ ($R^2 = 0.995$)	$y = -0.2621x + 26.121$ ($R^2 = 0.998$)
	OPP/CPP با گاز ازت	$y = -0.87x + 47.731$ ($R^2=0.999$)	$y = -0.1287x + 23.195$ ($R^2 = 0.885$)	$y = -0.2625x + 26.228$ ($R^2 = 1$)
۲۰۰ درجه (۳۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	$y = -0.8835x + 47.47$ ($R^2=0.998$)	$y = -0.1565x + 24.37$ ($R^2 = 0.995$)	$y = -0.2682x + 26.238$ ($R^2 = 0.996$)
	PE با گاز ازت	$y = -0.8599x + 47.545$ ($R^2=1$)	$y = -0.1352x + 24.323$ ($R^2 = 0.997$)	$y = -0.2715x + 26.275$ ($R^2 = 0.993$)
	OPP/CPP با گاز ازت	$y = -0.842x + 47.038$ ($R^2=0.997$)	$y = -0.1237x + 23.514$ ($R^2 = 0.999$)	$y = -0.2947x + 27.084$ ($R^2 = 0.968$)

*در معادلات فوق Y برابر میزان رطوبت و X برابر میزان چربی، پروتئین و یا فیبر است.

اندیس پراکسید

اکسیداسیون بادام کوهی توسط اندازه‌گیری اندیس پراکسید شاخص محصولات اولیه اکسیداسیون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که میزان اندیس پراکسید در بادام کوهی خام بسیار پایین ($۰/۱۸$ meq O₂/kg oil) بود که حاکی از عدم وجود فساد اکسیداسیونی در آن است. پس از دو ماه نگهداری میزان شاخص پراکسید در نمونه‌های برشته شده در ۵۰ درجه سلسیوس با بسته‌بندی اتمسفر معمولی از $۰/۸$ به $۶/۴$ (meq O₂/kg oil) رسید، در حالی که

در بسته‌بندی پلی اتیلن و OPP/CPP حاوی گاز ازت در مدت مشابه به ترتیب به $۵/۳$ و $۵/۵$ (meq O₂/kg oil) رسید. در دمای برشته کردن ۲۰۰ درجه سلسیوس در مدت مشابه میزان اندیس پراکسید به ترتیب در بسته‌بندی پلی اتیلن (یا OPP/CPP) حاوی گاز ازت از $۵/۲$ به ترتیب به $۲۳/۲$ و $۲۳/۹$ (meq O₂/kg oil) رسید. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی تیمارها اندیس پراکسید همواره کمتر از ۲۵ (meq O₂/kg oil) (حد آستانه قابل پذیرش برای مغزها) بود (Severini et al., 2003).

جدول ۵ - تاثیر برشته کردن بر میزان اندیس پراکسید (meq O₂/kg oil) بادام کوهی بسته‌بندی شده در طی دوره نگهداری*

شرایط برشته کردن	نوع بسته‌بندی	زمان نگهداری (روز)		
		صفر	۳۰	۶۰
۵۰ درجه (۶۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۰/۸۰ ± ۰/۰۵ cC	۳/۵۰ ± ۰/۱۰ bDE	۶/۴ ± ۰/۱۵ aD
	PE با گاز ازت	۰/۸۰ ± ۰/۰۵ cC	۲/۶۰ ± ۰/۱۰ bF	۵/۳ ± ۰/۲ aE
	OPP/CPP با گاز ازت	۰/۸۰ ± ۰/۰۵ cC	۲/۸۰ ± ۰/۰۸ bEF	۵/۵ ± ۰/۲۵ aE
۱۰۰ درجه (۴۵ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۱/۹۰ ± ۱/۰۴ cB	۴/۸۰ ± ۰/۲۰ bC	۹/۲ ± ۰/۷ aC
	PE با گاز ازت	۱/۹۰ ± ۱/۰۴ cB	۴/۱۰ ± ۰/۲۰ bCD	۸/۸ ± ۰/۴ aC
	OPP/CPP با گاز ازت	۱/۹۰ ± ۱/۰۴ cB	۴/۳۰ ± ۰/۱۵ bC	۹/۰۰ ± ۰/۵ aC
۲۰۰ درجه (۳۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۵/۲۰ ± ۰/۱۵ cA	۱۶/۵۰ ± ۰/۶۰ bA	۲۴/۶ ± ۰/۷ aA
	PE با گاز ازت	۵/۲۰ ± ۰/۱۵ cA	۱۵/۷۰ ± ۰/۸۴ bB	۲۳/۲ ± ۰/۶ aB
	OPP/CPP با گاز ازت	۵/۲۰ ± ۰/۱۵ cA	۱۶/۲۰ ± ۰/۷۰ bAB	۲۳/۹ ± ۰/۷ aAB

*میانگین‌های دارای حروف مشترک کوچک در هر ردیف و میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Pascual و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقاتی مشابه اثر بسته‌بندی تحت نیتروژن و هوا را بر روی کیفیت بادام به‌صورت پوست کنده و بو داده به‌ترتیب در طول ۲۰ هفته (در ۲۰ درجه سلسیوس) و ۹ ماه نگهداری (در ۸ و ۳۶ درجه سلسیوس) بررسی کردند، مطابق نتایج آنها اتمسفر بسته‌بندی تاثیر معنی‌داری بر پیشرفت اکسیداسیون نداشت. این در حالی است که صداقت و همکاران (۱۳۹۴) کمترین میزان عدد پراکسید پس از سه ماه ذخیره‌سازی پسته‌ها را در بسته‌بندی MAP و بیشترین آن در بسته‌بندی با هوای معمولی گزارش کردند (صداقت و همکاران، ۱۳۹۴). Gamli و Hayoğlu (۲۰۰۷) نیز بیان کردند که وجود اکسیژن در بسته‌ها منجر به افزایش اندیس پراکسید در نمونه‌های پسته گردید. از میان اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه، اثر شرایط برشته کردن و زمان نگهداری بر میزان اندیس پراکسید محصول در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱).

تری‌ان مزدوج

جذب فرابنفش در ۲۶۸ نانومتر به‌عنوان معیاری از تری‌ان‌های مزدوج و محصولات ثانویه اکسایش همانند کتو دی‌ان‌ها و دی‌انال‌های مزدوج می‌باشد. جدول ۶ روند تغییرات تری‌ان مزدوج بادام کوهی برشته شده و بسته‌بندی شده در شرایط مختلف به‌صورت تابعی از زمان نگهداری را نشان می‌دهد. میزان K₂₆₈ بادام کوهی خام ۱/۱۲۵ بود که با برشته کردن میزان آن به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت. به‌طوری که در هر یک از زمان‌های نگهداری بیشترین اندیس پراکسید مربوط به نمونه‌های برشته شده در بالاترین دمای برشته شدن بود.

با توجه به جدول ۵ تاثیر دمای برشته کردن و زمان نگهداری بر شاخص پراکسید معنی‌دار ($p < 0.05$) بود، به‌طوری که با افزایش دمای برشته کردن و نیز گذشت زمان مقدار این شاخص افزایش یافت. افزایش اندیس پراکسید بعد از برشته کردن، نشان‌دهنده ایجاد برخی واکنش‌های تخریبی در روغن است (Yang et al., 2010). نیک‌زاده و صداقت (۱۳۸۸) نیز نشان دادند که با افزایش دمای برشته کردن پسته از ۹۰ به ۱۵۰ درجه سلسیوس، عدد پراکسید افزایش معنی‌داری را نشان داد (نیک‌زاده و صداقت، ۱۳۸۸). افزایش عدد پراکسید در طول زمان نیز ناشی از شدت یافتن اکسیداسیون با افزایش مدت زمان نگهداری است. مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر این مطلب است که در یک نوع ثابت بسته‌بندی و تیمار برشته کردن، کمترین میزان اندیس پراکسید مربوط به زمان صفر (بالفاصله پس از برشته کردن) می‌باشد و در این زمان اختلاف معنی‌داری میان تیمارهای مختلف وجود داشت. منطبق بر نتایج تحقیق حاضر صداقت و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیان داشتند که با افزایش زمان نگهداری میزان پراکسید نمونه‌های پسته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (صداقت و همکاران، ۱۳۹۴). در بررسی تاثیر نوع بسته‌بندی، استفاده از اتمسفر نیتروژن عملکرد بهتری را در کنترل اکسیداسیون در مغز بادام کوهی برشته شده در هر سه دما داشت و بنابراین اندیس پراکسید در بسته‌های حاوی گاز ازت کمتر بود، هرچند این تاثیر چندان معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). بر این اساس، در هر یک از روزهای نگهداری کمترین اندیس پراکسید مربوط به نمونه‌های برشته شده در ۵۰ درجه سلسیوس بسته‌بندی شده با پلی‌اتیلن (یا OPP/CPP) حاوی گاز ازت بود. Sanchez-Bel و همکاران (۲۰۱۱) و Garcia-

به‌علاوه در همه تیمارها میزان K_{268} در طول زمان نگهداری به‌صورت معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش روند اکسایش در طول زمان می‌باشد. این امر با این واقعیت قابل‌توجیه است که با افزایش زمان ذخیره‌سازی، یعنی بعد از دو ماه، مقدار آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در بادام کوهی از جمله توکوفرول‌ها کاهش یافته و به‌تبع آن ثبات اکسیداتیو کاهش یافته است. طبق

گفته‌های Garcia-Pascual و همکاران (۲۰۰۳)، رابطه معنی‌داری میان افزایش اندیس پراکسید و کاهش توکوفرول بادام طی ذخیره‌سازی وجود داشت. Raisi و همکاران (۲۰۱۵) و Mexis و Kontominas (۲۰۱۰) نیز در مطالعات خود گزارش کردند که محصولات ثانویه اکسیداسیون در بادام (مالون دی آلدئید، هگزال) با زمان نگهداری افزایش یافت.

جدول ۶- تاثیر برشته کردن بر میزان تری‌ان مزدوج بادام کوهی بسته‌بندی شده در طی دوره نگهداری*

شرایط برشته کردن	نوع بسته‌بندی	زمان نگهداری (روز)		
		صفر	۳۰	۶۰
۵۰ درجه (۶۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	$1/26 \pm 0/02$ ^{cB}	$1/42 \pm 0/06$ ^{bCD}	$1/59 \pm 0/09$ ^{aB}
	PE با گاز ازت	$1/26 \pm 0/02$ ^{bB}	$1/30 \pm 0/05$ ^{bE}	$1/57 \pm 0/05$ ^{aB}
	OPP/CPP با گاز ازت	$1/26 \pm 0/02$ ^{cB}	$1/38 \pm 0/05$ ^{bDE}	$1/57 \pm 0/06$ ^{aB}
۱۰۰ درجه (۴۵ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	$1/268 \pm 0/01$ ^{cB}	$1/49 \pm 0/04$ ^{bC}	$1/68 \pm 0/07$ ^{aB}
	PE با گاز ازت	$1/268 \pm 0/01$ ^{cB}	$1/47 \pm 0/03$ ^{bCD}	$1/60 \pm 0/01$ ^{aB}
	OPP/CPP با گاز ازت	$1/268 \pm 0/01$ ^{cB}	$1/49 \pm 0/06$ ^{bC}	$1/66 \pm 0/05$ ^{aB}
۲۰۰ درجه (۳۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	$1/53 \pm 0/05$ ^{cA}	$1/74 \pm 0/04$ ^{bA}	$1/92 \pm 0/04$ ^{aA}
	PE با گاز ازت	$1/53 \pm 0/05$ ^{bA}	$1/62 \pm 0/05$ ^{bB}	$1/82 \pm 0/06$ ^{aA}
	OPP/CPP با گاز ازت	$1/53 \pm 0/05$ ^{cA}	$1/71 \pm 0/01$ ^{bAB}	$1/88 \pm 0/07$ ^{aA}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک کوچک در هر ردیف و میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

ترکیب اسید چرب

ترکیب اسید چرب بادام کوهی خام شامل اولئیک اسید (۶۴/۲۲٪)، لینولئیک اسید (۲۳/۵۴٪)، پالمیتیک اسید (۸/۸۶٪)، استئاریک اسید (۲/۷۴٪) و پالمیتولئیک اسید (۰/۶۴٪) است. این پروفیل اسید چرب منطبق با داده‌های گزارش شده توسط Chodar Moghadas و Rezaei (۲۰۱۷) و حجتی و همکاران (۲۰۱۶) می‌باشد. همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در بادام کوهی برشته شده در شرایط مختلف، مستقل از نوع روش بسته‌بندی، میزان اسیدهای چرب چندغیراشباع خصوصاً لینولئیک اسید (۱۸/۸۵-۱۹/۰۹٪) و اسیدهای چرب اشباع (۱۰/۸۹-۱۱/۲۶٪) کاهش و میزان اسیدهای چرب تک غیراشباع (۶۹/۶۲-۷۰/۲۳٪) به‌ویژه اولئیک اسید کمی افزایش یافت. این در حالی است که در نمونه خام میزان اسید چرب اشباع ۱۱/۶٪، اسید چرب تک غیراشباع ۶۳/۴۵٪ و اسید چرب چندغیراشباع ۲۳/۵۴٪ بود. بدین ترتیب فرایند برشته کردن (مستقل از دمای برشته کردن) منجر به کاهش معنی‌دار لینولئیک، پالمیتولئیک، پالمیتیک و استئاریک اسید و افزایش معنی‌دار اولئیک اسید نسبت به نمونه خام گردید که در این

همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود در هر دمای برشته کردن نیز بسته‌بندی‌های حاوی ازت K_{268} کمتری داشتند که این مساله به‌ویژه در دوره‌های نگهداری طولانی‌تر بیشتر دیده می‌شود. این مساله احتمالاً بدلیل اثر محافظتی نیتروژن در برابر اکسیداسیون لیپیدها و تجمع تری‌ان مزدوج در بادام کوهی بود. در انتهای دوره نگهداری بیشترین مقدار K_{268} مربوط به نمونه برشته شده در ۲۰۰ درجه سلسیوس بسته‌بندی شده با پلی اتیلن حاوی اتمسفر معمولی و کمترین آن مربوط به نمونه برشته شده در ۵۰ درجه سلسیوس بسته‌بندی شده با پلی اتیلن (یا OPP/CPP) حاوی گاز ازت بود. به‌طور مشابه Sanchez-Bel و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که شاخص K_{268} در بادام‌های برشته شده بسته‌بندی شده در N_2 در مدت ۵ ماه ذخیره‌سازی آهسته‌تر افزایش می‌یابد، در حالی که در نمونه‌های فاقد پوست این شاخص بدون در نظر گرفتن اتمسفر بسته‌بندی، در انتهای دوره نگهداری به همان سطح می‌رسد. قابل ذکر است که هیچ کدام از اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه شرایط برشته کردن، بسته‌بندی و زمان نگهداری بر میزان تری‌ان مزدوج در سطح ۱٪ معنی‌دار نبود (جدول ۱).

میان، نمونه‌های برشته شده در دمای بالاتر به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) میزان پالمیتیک اسید بیشتر و استتاریک اسید کمتری داشتند. در رابطه با سایر اسیدهای چرب تفاوت معنی‌داری بین دماهای مختلف برشته کردن دیده نشد. محققین نشان دادند که PUFA از مهمترین عوامل در حساسیت به اکسیداسیون محسوب می‌گردد (فرهمندفر و همکاران، ۱۳۹۷). این بدان معنا است که در اثر اکسایش، تعداد پیوندهای دوگانه در اسیدهای چرب چند غیراشباع ۱۸ کربنه کاهش و مقدار MUFA (خصوصاً اسید اولئیک) و نسبت اسیدهای چرب تک غیراشباع به چند غیراشباع (MUFA/PUFA) افزایش یافت. از طرف دیگر، اکسایش اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیر موجب شکستن و کوتاهتر شدن آنها می‌گردد. پس با اکسایش اسیدهای چرب غیراشباع ۱۸ کربنه به‌ویژه طی برشته کردن در دمای بالاتر (۲۰۰ درجه

سلسیوس) مقدار اسید پالمیتیک افزایش یافت. فرهمندفر و همکاران (۱۳۹۷) نیز کاهش مقدار لینولئیک اسید، آلفا-لینولئیک اسید، PUFA و USFA و افزایش مقدار پالمیتیک اسید، استتاریک اسید و SFA روغن سویا با افزایش مدت زمان حرارت‌دهی میکروویو را به همین مساله نسبت دادند (فرهمندفر و همکاران، ۱۳۹۷). Amaral و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که برشته کردن فندق موجب تغییر ترکیب اسیدچرب شامل کاهش لینولئیک اسید و افزایش اولئیک اسید و اسیدهای چرب اشباع می‌شود. با افزایش تعداد باند دوگانه سرعت اکسیداسیون اسید چرب افزایش می‌یابد که همین توجیه‌کننده نتایج بود (Amaral et al., 2006). این در حالی است که Sanchez-Bel و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که هیچ تغییر قابل ملاحظه‌ای و حتی الامکان بسیار کم در ترکیبات اسید چرب بادام با برشته کردن دیده شد.

جدول ۷- تاثیر برشته کردن بر پروفیل اسید چرب (%) بادام کوهی بسته‌بندی شده در روز اول نگهداری*

اسید چرب (%)					شرایط برشته کردن	نوع بسته‌بندی
لینولئیک اسید	اولئیک اسید	استتاریک اسید	پالمیتولینیک اسید	پالمیتیک اسید		
۱۸/۸۵ ± ۱/۲۵ ^B	۶۹/۹۱ ± ۲/۵۰ ^A	۲/۶۵ ± ۰/۰۵ ^B	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۲۴ ± ۰/۱۰ ^C	PE با اتمسفر معمولی	
۱۸/۸۵ ± ۱/۲۵ ^B	۶۹/۹۱ ± ۲/۵۰ ^A	۲/۶۵ ± ۰/۰۵ ^B	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۲۴ ± ۰/۱۰ ^C	PE با گاز ازت	۵۰ درجه (۶۰ دقیقه)
۱۸/۸۵ ± ۱/۲۵ ^B	۶۹/۹۱ ± ۲/۵۰ ^A	۲/۶۵ ± ۰/۰۵ ^B	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۲۴ ± ۰/۱۰ ^C	OPP/CPP با گاز ازت	
۱۸/۸۸ ± ۱/۵ ^B	۶۹/۷۸ ± ۱/۹۰ ^A	۲/۵۲ ± ۰/۰۲ ^C	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۵۲ ± ۰/۰۷ ^B	PE با اتمسفر معمولی	
۱۸/۸۸ ± ۱/۵ ^B	۶۹/۷۸ ± ۱/۹۰ ^A	۲/۵۲ ± ۰/۰۲ ^C	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۵۲ ± ۰/۰۷ ^B	PE با گاز ازت	۱۰۰ درجه (۴۵ دقیقه)
۱۸/۸۸ ± ۱/۵ ^B	۶۹/۷۸ ± ۱/۹۰ ^A	۲/۵۲ ± ۰/۰۲ ^C	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۵۲ ± ۰/۰۷ ^B	OPP/CPP با گاز ازت	
۱۹/۰۹ ± ۱/۰۰ ^B	۶۹/۳ ± ۱/۳۰ ^A	۲/۳۸ ± ۰/۰۶ ^D	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۸۸ ± ۰/۰۸ ^A	PE با اتمسفر معمولی	
۱۹/۰۹ ± ۱ ^B	۶۹/۳ ± ۱/۳۰ ^A	۲/۳۸ ± ۰/۰۶ ^D	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۸۸ ± ۰/۰۸ ^A	PE با گاز ازت	۲۰۰ درجه (۳۰ دقیقه)
۱۹/۰۹ ± ۱/۰۰ ^B	۶۹/۳ ± ۱/۳۰ ^A	۲/۳۸ ± ۰/۰۶ ^D	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^B	۸/۸۸ ± ۰/۰۸ ^A	OPP/CPP با گاز ازت	

* میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

به‌علاوه همان‌طور که جدول ۷ نشان می‌دهد نوع بسته‌بندی و وجود گاز ازت بر روند تغییر اسیدهای چرب تاثیر معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). اکسیداسیون لیپیدها شامل کاهش محتوای اسیدهای چرب غیراشباع، به‌طور عمده اسید لینولئیک، لینولئیک و اولئیک و در میزان کمتر، اسید پالمیتولئیک است. محصولات تخریب مانند اوکتانال و هگزانال نیز ممکن است افزایش یابند (Sanchez-Bel et al., 2011). با این حال، ممکن است زمان لازم برای بروز این واکنش‌ها و میزان تأثیر شرایط ذخیره‌سازی (اتم‌سفر بسته‌بندی، دما، رطوبت، مواد بسته‌بندی و غیره) بر پایداری چربی‌ها کافی نباشد. به‌عنوان مثال، برخی از نویسندگان نیز کاهش در تخریب اسیدهای چرب، به‌ویژه اسیدهای اولئیک و لینولئیک، را هنگام کاربرد اتم‌سفر اصلاح یافته مشاهده کردند

(Sanchez-Bel et al., 2011; Hojjati et al., 2016) در حالی که برخی دیگر هیچ تغییری را در وضعیت تخریب و اکسیداسیون لیپیدها هنگام استفاده از اتم‌سفر اصلاح شده مشاهده نکردند (Garcia-Pascual et al., 2003). به‌علاوه منطبق بر نتایج تحقیق حاضر، Sanchez-Bel و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که طی دوره نگهداری ۵ ماهه در ۲۰ درجه سلسیوس تغییری در ترکیب اسیدهای چرب بادام خام و برشته (بسته‌بندی شده در اتم‌سفر نیتروژن/ یا هوا) مشاهده نکردند.

بافت

اندازه گیری میزان سفتی نمونه های بادام کوهی حاکی از آن است که عوامل دمای برشته کردن، زمان نگهداری و نوع بسته بندی بر میزان سفتی بادام کوهی تاثیر معنی داری ($p < 0.05$) داشته است (جدول ۸). میزان سفتی بادام کوهی خام مورد استفاده در این تحقیق ۱۹۸/۵ گرم بوده است که برشته کردن (مستقل از نوع تیمار) موجب افزایش معنی دار سفتی شده است. این مساله بدلیل محتوای رطوبتی بالاتر نمونه خام در مقایسه با سایر تیمارها می باشد. در زمان صفر نیروی شکست در دانه های برشته شده در ۲۰۰ درجه سلسیوس (۷۸۳ گرم) کمتر از نمونه های برشته شده در ۱۰۰ درجه سلسیوس (۴۹۹ نیوتن) و ۵۰ درجه سلسیوس (۳۰۹ نیوتن) بوده است. بررسی نتایج بدست آمده از جدول مقایسه میانگین ها گویای آن است که در تمامی نمونه های بسته بندی شده (با/ فاقد گاز ازت) با افزایش دمای برشته کردن میزان سفتی بافت به طور معنی داری افزایش یافته است. به طوری که در میان نمونه های بسته بندی شده به یک روش، همواره نمونه های برشته شده در حد زیاد (۲۰۰ درجه سلسیوس) بیشترین و نمونه برشته شده در حد کم (۵۰ درجه سلسیوس) کمترین میزان سفتی را داشتند. علاوه بر این با گذشت

زمان سفتی بافت تمامی تیمارها افزایش معنی داری ($p < 0.05$) داشته است. با توجه به این که تغییرات رطوبت با گذشت زمان سیر نزولی داشته است، شاید دلیل افزایش سفتی بافت در طی زمان را بتوان به کهنگی و سفت شدن متعاقب آن نسبت داد. تحقیقات نشان داده که اکسیداسیون چربی ها علاوه بر افزایش پراکسیدها و رادیکال های آزاد چربی، فرآورده های تخریبی حاصل از آنها نظیر آلدئیدها را نیز افزایش می دهد که تمامی این محصولات قادر به واکنش با ویتامین ها، اسیدهای آمینه و پروتئین ها می باشند. در نتیجه علاوه بر ایجاد کهنگی، سفت شدن بافت را نیز سبب می شوند (نیک زاده و صداقت، ۲۰۰۸). این نتایج کاملاً با نتایج صداقت و همکاران (۱۳۹۴) هماهنگی داشت. آنها نیز افت رطوبت نمونه ها با گذشت زمان را به افزایش نیروی شکست پسته بسته بندی شده طی دوره نگهداری نسبت دادند. پژوهش نیک زاده و صداقت (۱۳۸۸) نیز نشان داد که نیروی شکست پسته های برشته شده در طی زمان نگهداری افزایش یافت. آنها دلیل این امر را جذب رطوبت و واکنش های صورت گرفته بین محصولات حاصل از اکسیداسیون با اسیدهای آمینه و پروتئین ها عنوان کردند (نیک زاده و صداقت، ۱۳۸۸).

جدول ۸- تاثیر برشته کردن بر سفتی بافت (g) بادام کوهی بسته بندی شده در روز اول نگهداری *

شرایط برشته کردن	نوع بسته بندی	زمان نگهداری (روز)		
		صفر	۳۰	۶۰
۵۰ درجه (۶۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۳۰۹ ± ۶ cC	۶۲۱/۵ ± ۶/۵ bG	۸۲۱ ± ۱۳ aF
	PE با گاز ازت	۲۵۲ ± ۶ cC	۷۱۸/۵ ± ۱۲ bF	۸۳۰ ± ۱۰ aF
	OPP/CPP با گاز ازت	۲۸۹ ± ۶ cC	۳۸۱/۵ ± ۷ bH	۴۲۷ ± ۶ aG
۱۰۰ درجه (۴۵ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۴۹۹ ± ۷ cB	۱۳۵۲ ± ۱۵ bD	۱۶۸۹ ± ۱۹ aD
	PE با گاز ازت	۵۷۱ ± ۷ cB	۱۳۸۹ ± ۱۸ bC	۱۹۱۲ ± ۱۸ aC
	OPP/CPP با گاز ازت	۵۳۹ ± ۷ cB	۸۹۰ ± ۱۰ bE	۹۱۹ ± ۱۰ aE
۲۰۰ درجه (۳۰ دقیقه)	PE با اتمسفر معمولی	۷۸۳ ± ۱۰ cA	۱۴۴۲ ± ۲۰ bB	۲۶۶۹ ± ۲۵ aB
	PE با گاز ازت	۸۱۰ ± ۱۰ cA	۱۴۸۶ ± ۱۶ bA	۳۰۱۲ ± ۲۸ aA
	OPP/CPP با گاز ازت	۸۰۱ ± ۱۰ bA	۹۰۲ ± ۱۲ aE	۹۲۱/۵ ± ۱۶ aE

* میانگین های دارای حروف مشترک کوچک در هر ردیف و میانگین های دارای حروف مشترک بزرگ در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی دار نمی باشند.

اتمفر بسته بندی نیز در آزمون سفتی بافت معنی دار بود ($p < 0.05$). به طوری که نمونه های بسته بندی شده در شرایط اتمفر هوا نسبت به گاز ازت سفتی بافت بیشتری داشتند. دلیل این امر می تواند اثر اکسیژن بر بافت و سفتی و کهنگی بادام های نگهداری شده در این بسته ها باشد. در پایان دوره نگهداری نمونه های برشته شده در دمای ۲۰۰ درجه

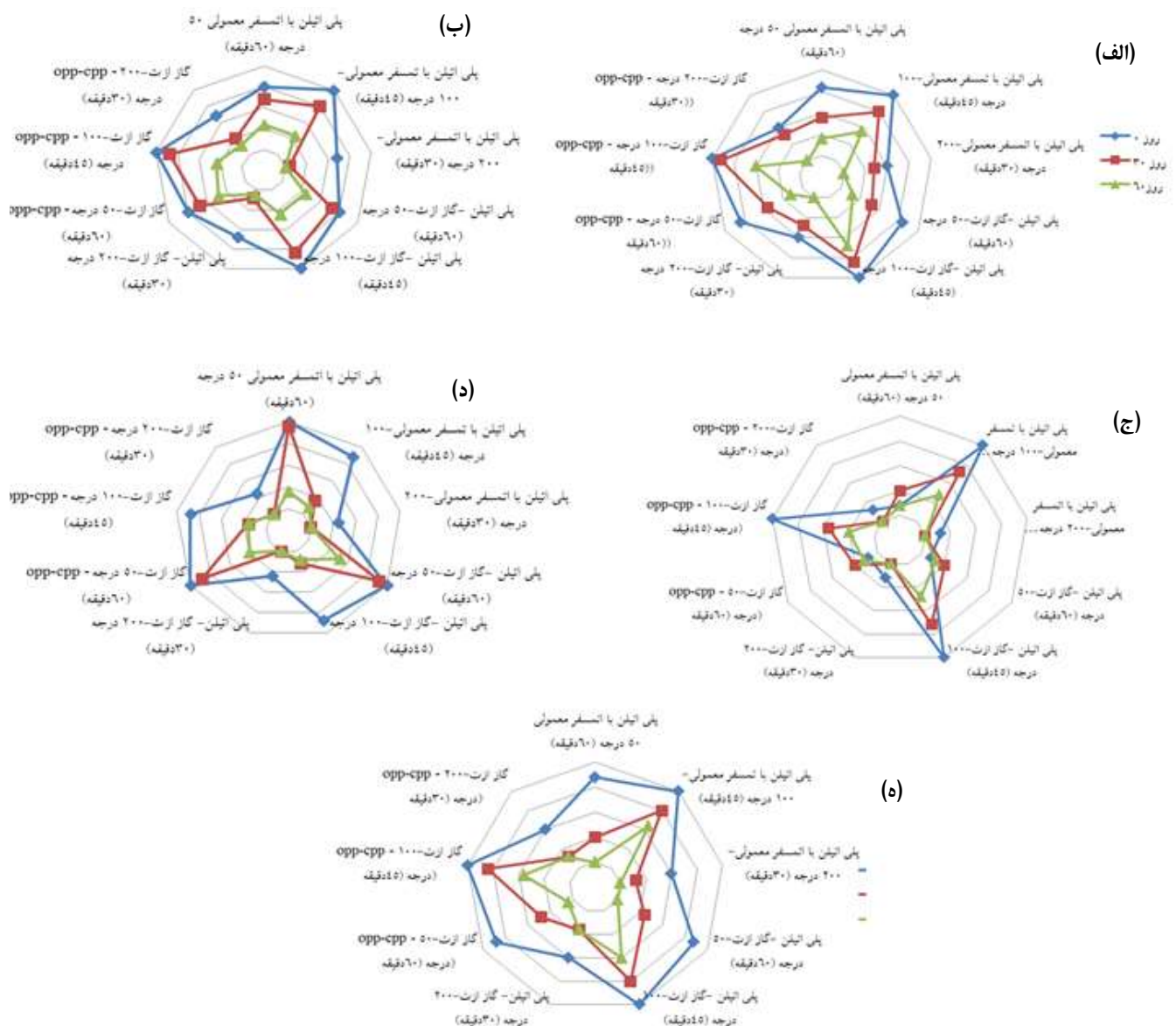
نوع بسته بندی تیمارهای برشته شده طی زمان نگهداری نیز تاثیر معنی داری بر سفتی بافت نمونه ها داشت. به طوری که همواره نمونه های بسته بندی شده OPP/CPP حاوی گاز ازت سفتی بافت کمتر از بسته بندی پلی اتیلن داشتند. که احتمالاً دلیل این امر نفوذپذیری بیشتر جنس بسته بندی پلی اتیلن نسبت به رطوبت بوده است. اثر شرایط

قابل ذکر است که تمامی اثرات متقابل دوگانه و سه گانه شرایط برشته کردن، بسته بندی و زمان نگهداری بر میزان سفتی بافت محصول در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱).

ارزیابی حسی

نتایج حاصل از ارزیابی حسی بادام کوهی برشته شده بر حسب نوع بسته بندی و زمان نگهداری در شکل ۱ آورده شده است.

سلسیوس و بسته بندی در پلی اتیلن با اتمسفر معمولی (۲۶۶۹ گرم) دارای بیشترین سفتی بافت و نمونه های برشته شده در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و بسته بندی در OPP/CPP حاوی گاز ازت (۴۲۷ گرم) دارای کمترین سفتی بافت بودند. سفتی مغزهای بسته بندی در اتمسفر هوا قبلاً نیز توسط سایر محققین بیان شده بود. صداقت و همکاران (۱۳۹۴) بسته های بسته بندی شده تحت خلا و MAP را سفت تر از پسته های بسته بندی شده در هوای معمولی یافتند (صداقت و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۱- ارزیابی حسی مغز بادام کوهی برشته شده به صورت تابعی از نوع بسته بندی در طول زمان. الف: بو، ب: طعم، ج: رنگ، د: بافت، ه: پذیرش کلی

حسی بودند، هرچند در تیمار یکسان برشته کردن، نوع بسته‌بندی تاثیر معنی‌داری بر امتیاز بو، طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی نداشت ($p > 0.05$). نتایج تحقیقات Bakkalbası و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که با افزایش زمان نگهداری از میزان پذیرش کلی و امتیاز طعم گردو کاسته شد. آن‌ها نیز دلیل این امر را افزایش میزان اکسیداسیون محصول عنوان کردند. Mexis و Kontominas (۲۰۱۰) نیز با بررسی اثر شرایط بسته‌بندی و دما و زمان نگهداری بر روی خصوصیات بادام درختی به این نتیجه رسیدند که زمان نگهداری بر روی طعم و خصوصیات حسی بادام مؤثر بود. به طوری که با افزایش زمان نگهداری از میزان امتیاز طعم محصول کاسته می‌شد. آن‌ها علت این امر را اکسیداسیون محصول اعلام کردند.

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر آن است که با افزایش دمای برشته کردن میزان رطوبت و سفتی بافت به‌طور معنی‌داری کاهش و میزان چربی، پروتئین، فیبر، اندیس پراکسید و تری‌ان مزدوج روغن به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت. بررسی روند تغییرات اسیدهای چرب نیز نشان داد که با افزایش دمای برشته کردن تنها میزان پالمیتیک اسید به‌طور معنی‌داری افزایش و میزان استئاریک اسید کاهش معنی‌داری یافت. اثر گاز ازت بر روی فیبر و پروفایل اسید چرب معنی‌دار نبود، اما در هر دمای برشته کردن بسته‌بندی‌های حاوی گاز ازت به‌طور معنی‌داری عملکرد بهتری در کنترل اکسیداسیون داشته و اندیس پراکسید و تری‌ان مزدوج کمتری داشتند. همچنین پیشرفت فساد اکسیداسیون در طول زمان، در مورد نمونه‌های برشته شده در دمای بالاتر با پوشش پلی‌اتیلن بسیار بیشتر بود. به‌علاوه در این تحقیق مشخص شد پوشش بسته‌بندی OPP/CPP حاوی گاز ازت محافظت بهتری از محصول به عمل آورده است. بنابر نتایج آنالیز حسی نیز بالاترین امتیاز به بادام کوهی برشته شده در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۵ دقیقه داده شد. هرچند لازم است مطالعات بیشتری در زمینه تاثیر شدت برشته کردن بر ترکیبات فرار تشکیل شده در بادام کوهی طی حرارت دهی و نیز تاثیر نوع بسته‌بندی بر روند تغییرات آن طی نگهداری صورت گیرد.

پس از یک ماه نگهداری حداکثر امتیاز بو، طعم، بافت و پذیرش کلی مربوط به نمونه‌های برشته شده در ۱۰۰ درجه سلسیوس بسته‌بندی شده به روش OPP/CPP بود، در حالی که پس از دو ماه نگهداری اختلاف معنی‌داری بین امتیاز بو نمونه‌های برشته شده در ۵۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس و امتیاز طعم و پذیرش کلی نمونه‌های برشته شده در ۵۰ و ۲۰۰ درجه سلسیوس صرف نظر از نوع بسته‌بندی دیده نشد ($p > 0.05$). فساد اکسیداتیو چربی‌ها که در اثر برشته کردن صورت می‌گیرد، باعث توسعه عطر و طعم نامطلوب فراورده می‌شود (نیک‌زاده و صداقت، ۱۳۸۸). بالاترین امتیاز رنگ پس از یک و دو ماه نگهداری به‌ترتیب مربوط به نمونه‌های برشته شده در ۵۰ درجه سلسیوس بسته‌بندی شده با پلی‌اتیلن یا OPP/CPP حاوی گاز ازت بود. استفاده از دمای بالای جهت برشته کردن موجب تیره شدن سطح پوسته و ایجاد کمی طعم تلخی در محصول شد. علاوه بر این وجود اکسیژن در اتمسفر بسته‌بندی موجب تخریب رنگ محصول با سرعت بیشتری می‌گردد، هرچند در تحقیق حاضر اثر اکسیژن معنی‌دار نبود. به‌علاوه دمای برشته شدن و زمان نگهداری اثر معنی‌داری بر امتیاز بو، طعم، رنگ و بافت داشته و دماهای بالا و گذشت زمان موجب کاهش معنی‌دار امتیاز بو، طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی گردیده است ($p < 0.05$). به‌طوری که با افزایش دمای برشته کردن (۲۰۰ درجه سلسیوس) تغییرات نامطلوب ایجاد شده طی فرایند گرمایی نیز بیشتر رخ می‌دهد. کاهش امتیاز بافت در دماهای بالاتر برشتگی به‌ویژه در زمان‌های طولانی‌تر نگهداری به‌دلیل سفتی بافت در اثر افت کمی رطوبت بود. در این پژوهش نتایج حاصل از سفتی حسی و سختی دستگاهی همخوانی داشت. نتایج صداقت و همکاران (۱۳۹۴) نیز حاکی از آن بود که اثر زمان نگهداری و شرایط بسته‌بندی بر روی بافت و سفتی پسته معنی‌دار ($p < 0.05$) بود. به‌طوری که با گذشت زمان تا ۳۰ روز پس از بسته‌بندی بر سفتی پسته به‌طور معنی‌داری افزوده شد و بعد از این زمان تا ۹۰ روز افزایش سفتی معنی‌دار نبود (صداقت و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهش حاضر علت کاهش رتبه ارزیابی حسی در طی دوره نگهداری، پیشروی اکسیداسیون و تشکیل مواد مولد طعم و بوی نامطلوب حاصل از رنسدیتی بادام کوهی، سفتی بافت و تیرگی رنگ با گذشت زمان است که بر ویژگی‌های حسی محصول اثر منفی دارد. بر این اساس نمونه‌های برشته شده در ۲۰۰ درجه سلسیوس بسته‌بندی شده به روش اتمسفر معمولی پس از یک یا دو ماه نگهداری دارای حداقل امتیاز

منابع

- صداقت، ن. و پژوهان‌مهر، س.، ۱۳۹۳، بررسی خواص کیفی مغز بادام وحشی *Amygdalus scoparia* تحت شرایط مختلف بسته‌بندی و نگهداری، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره ۴۳، دوره ۱۱، ص ۱۱ تا ۲۳.
- صداقت، ن.، مرادی، ق.، خشنودی نیا، س. و کوچکی، الف.، ۱۳۹۴، تأثیر شرایط اتمسفر بسته‌بندی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی پسته‌ی خشک رقم اوحدی، نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۱۱، شماره ۵، ص ۵۴۶ تا ۵۵۹.

- فرهمندفر، ر.، امینی، ع.، فقیه نصیری، ش. و اثنی عشری، م.، ۱۳۹۷، تاثیر عصاره نعنا فلفلی بر کیفیت روغن سویا در طی حرارت‌دهی مایکروویو، علوم و صنایع غذایی، شماره ۷۵، دوره ۱۵، ص ۲۰۱ تا ۲۱۶.
- قربانی، م.، و شفیعی، ت.، صادقی ماهونک، ع.، مقصودلو، ی. و حسینی، ح.، ۱۳۹۷، بررسی همبستگی بین شاخص‌های پراکسید، آنیزیدین، دی‌ان و تری‌ان مزدوج طی پیشرفت اکسایش در فندق خام و برشته در شرایط نگهداری تسریع یافته، علوم و صنایع غذایی، شماره ۸۲، دوره ۱۵، ص ۲۵ تا ۳۸.
- مختاری، ز. و ضیایی، فر. ا. م.، ۱۳۹۷، تاثیر روشهای مختلف برشته کردن بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بادام کوهی، فصلنامه فناوری های نوین غذایی، سال ششم، شماره ۱، ص ۷۳-۵۵.
- نیک‌زاده، و. و صداقت، ن.، ۱۳۸۸، بررسی اثرات دمای برشته کردن، فرمولاسیون و زمان نگهداری بر ویژگیهای کیفی روغن پسته و خصوصیات ارگانولپتیکی آن، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره ۶ دوره ۳، ص ۴۵ تا ۵۴.
- Amaral, J.S., Casal, S., Seabra, R.M., & Oliveira, B.P.P., 2006. Effects of roasting on hazelnut lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 1315-1321.
- AOAC. 2003. Official Methods of Analysis; Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Arinola, S.A., & Adesina, K., 2014. Effect of thermal processing on the nutritional, antinutritional, and antioxidant properties of *Tetracarpidium conophorum* (African walnut). *Journal of Food Processing*, 2014, 1-4.
- Bakkalbasi, E., Yilmaz, O.M., Javidipour, I., & Artık, N., 2012. Effects of packaging materials, storage conditions and variety on oxidative stability of shelled walnuts, *LWT – Food Science and Technology*, 46, 1, 203-209.
- Bhattacharya, S., & Prakash, M., 1997, Kinetics of roasting of split chickpea (*Cicer arietinum*). *International Journal of Food Science and Technology*, 32(1), 81-84.
- Chodar Moghadas, H., & Rezaei, K., 2017, Laboratory-scale optimization of roasting conditions followed by aqueous extraction of oil from wild almond. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94, 867–876.
- Gamli, F., & Hayoğlu, I., 2007, The effect of the different packaging and storage conditions on the quality of pistachio nut paste, *Journal of Food Engineering*, 78, 2, 443-448.
- Garcia-Pascual, P., Mateos, M., Carbonell, V., & Salazar, D.M., 2003, Influence of storage conditions on the quality of shelled and roasted almonds. *Biosystems Engineering*, 84, 201-209.
- Hojjati, M., Lipan, L., & Carbonell-Barrachina, A. A., 2016, Effect of roasting on physicochemical properties of wild almonds (*Amygdalus scoparia*). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(9).
- IUPAC, 1992. Standard Methods for the Analysis of Oils and Derivatives, 1st supplement to 7th Edition, International Union of Pure and Applied Chemistry, Pergamon Press, Oxford.
- Kahyaoglu, T., & Kaya, S., 2006, Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. *Journal of Food Engineering*, 75(2), 167-177.
- Kermanshah A., Ziarati P., Asgarpanah J., & Qomi, M., 2014, Food values of two endemic wild almond species from Iran. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 4 (3), 380-388.
- Kim, R., & Labella, F., 1987, Comparison of analytical methods for monitoring autoxidation profiles of authentic lipids. *Journal of Lipid Research*, 28, 1110–1117.
- Kosoko, S.B., Sanni, L.O., Adebawale, A.A., Daramola, A.O., & Oyelakin, M.O., 2009, Effect of period of steaming and drying temperature on chemical properties of cashew nut. *African Journal of Food Science*, 3, 156-164.
- Koyuncu, M.A., 2004, Change of fat content and fatty acid composition of Turkish hazelnuts (*corylus Avellana L.*) during storage. *Journal of Food Quality*, 27(4), 304-309.
- Macedo, I.S.M., Sousa-Gallagher, M.J., Oliveira, J.C., & Byrne, E.P, 2013, Quality by design for packaging of granola breakfast product. *Food Control*, 29, 438-443.
- Mexis, S.F., Badeka, A.V., & Kontominas, M.G., 2009, Quality evaluation of raw ground almond kernels (*Prunus dulcis*): Effect of active and modified atmosphere packaging, container oxygen barrier and storage conditions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(4), 580-589.
- Mexis, S.F., & Kontominas, M.G., 2010, Effect of oxygen absorber, nitrogen flushing, packaging material oxygen transmission rate and storage conditions on quality retention of raw whole unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*). *LWT-Food Science and Technology*, 43(1), 1-11.
- Moayed, A., Rezaei, K., Moini, S., & Keshavarz, B., 2011, Chemical Compositions of Oils from Several Wild Almond Species. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(4), 503-508.
- Padehban, L., Ansari, S., & Koshani, R., 2018, Effect of packaging method, temperature and storage period on physicochemical and sensory properties of wild almond kernel. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 3408-3416.
- Raisi, M., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A., Kashaninejad, M., & Hosseini, H., 2015, Effect of storage atmosphere and temperature on the oxidative stability of almond kernels during long term storage. *Journal of Stored Products Research*, 62, 16-21.

- Sanchez-Bel, P., Egea, I., Pretel, M.T., Flores, F.B., Romojaro, F., & Martínez-Madrid, M.C., 2011, Roasting and packaging in nitrogen atmosphere protect almond var. *Guara* against lipid oxidation. *Food Science and Technology International*, 17, 529-540.
- Severini, C., De Pilli, T., & Baiano, A., 2003, Autoxidation of packed roasted almonds as affected by two packaging films. *Journal of Food Processing Preservation*, 27, 321-335.
- Somporn, C., Kamtuo, A., Theerakulpisut, P., & Siriamornpun, S., 2011, Effects of roasting degree on radical scavenging activity, phenolics and volatile compounds of Arabica coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. *Catimor*). *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2287-2296.
- Yang, J., Bingol, G., Pan, Z., Brandl, M.T., McHugh, T.H., & Wang, H., 2010, Infrared heating for dry-roasting and pasteurization of almonds. *Journal of Food Engineering*, 101, 273-280.



Effect of roasting conditions and packaging on physicochemical properties of wild almond (*Amygdalus scoparia* L.) during storage

M. A. Nazemi¹, S. Ansari^{2*}

Received: 2020.03.10

Accepted: 2020.08.25

Introduction: Roasting is one of the most important thermal processing to improve the physicochemical and organoleptic properties of nuts. Wild almond, especially roasted wild almond is very sensitive to oxidation due to its high content of unsaturated fatty acids. Lipid oxidation can be inhibited by using a suitable packaging material and modifying the atmosphere of the packaging. In this research, the effects of roasting degree (light roasting at 50°C/60 min, medium roasting at 100°C/45 min and dark roasting at 200°C/ 30 min), as well as the presence/ absence of nitrogen gas in two types of pouches including polyethylene (PE) and oriented polypropylene/ cast polypropylene (OPP/CPP) were investigated. The effects of above mentioned treatments were examined using Completely Randomized Design on the moisture, total fat, firmness, peroxide value and conjugated trienes, fatty acid profile and sensory properties during two months storage at 37°C.

Materials and Methods: The wild almonds used in this research were collected randomly from the Dasht-e-Arjan region in Fars province (Iran). The debittering process of almonds was done by soaking in 4- 6 % (w/v) of NaCl solution for 12 hours at three consecutive days. A certain amount of debittered wild almonds with a uniform size were roasted at 50°C for 60 minutes (light- roasting), 100°C for 45 minutes (medium- roasting) and 200°C for 30 minutes (dark- roasting) in a laboratory toaster (SSN-2004x, Iran). After cooling at room temperature, samples of 100 g were packed using gas flushing packing machine (90SM4, Shadmehr Co., Iran) in three different conditions: a) air atmosphere (in transparent PE pouches, 70- 75 µm thickness), b) modified atmosphere flushed with N₂ gas (in transparent PE pouches, 70- 75 µm thickness), c) modified atmosphere flushed with N₂ gas (in two-layer transparent OPP-CPP pouches, 25 and 50 µm thickness of the first and second layer). The samples were stored for two months at 37°C and 7-8% R.H. At definite time intervals, the samples were analyzed for the moisture content by oven drying, total oil content by the soxhlet method, protein content by the Kjeldahl method, and fiber content through chemical gravimetric method. Extraction of oil from the nut samples was carried out using hexane, as described by Kornsteiner et al. (2009). Peroxide value (PV) was determined by the iodometric assay according to IUPAC standard method 2.501. Conjugated trienes were calculated according to IUPAC Official Method 2.205 based on measuring absorbance of a solution containing 0.01-0.03 g of oil in 25 ml of isooctane. The fatty acid composition of wild almond oils was determined by gas chromatography equipped with flame ionization detection. Hardness of the wild almond was evaluated using a Texture Analyzer (CT3-Brookfield, USA). Sensory evaluation of samples was carried out by 30 trained panelists using a five point hedonic scale. Statistical analysis of completely randomized design with three replications and means comparison in 95% confidence level was employed using the SPSS-19 software.

Results and Discussion: Analysis of variance indicated that the independent effects of roasting conditions, packaging and storage time and the interaction of roasting conditions and storage time on the mentioned parameters were significant ($p < 0.01$). With roasting at higher temperatures, the moisture content and hardness decreased significantly while the oil, protein and fiber content of wild almond kernels and the peroxide value (PV) and conjugated trienes (CT) of their oils increased significantly. However, the increase in protein and CT for medium and low roasting conditions and the increase in fiber for medium and high roasting conditions were not significant ($p > 0.05$). Moreover, increasing the roasting temperature of wild almond led to a significant increase of palmitic acid and a significant decrease of stearic acid whereas other fatty acids did not change significantly. There was a remarkable increase and then a rapid decrease in the fiber, fat and protein content of all roasted samples during the first and second months of storage, respectively. Whereas the PV and CT of oils increased and the moisture content and hardness decreased significantly during the two- months storage. For each roasting temperature, wild almonds packaged in pouches under N₂ had lower PV and CT of oils and the OPP/CPP pouches under N₂ had better performance in this regard and retaining moisture, fat, protein, fiber content and texture. At the end of storage with PV of 24.6 (meqO₂/kg oil) and K268 of 1.92 the dark-roasted almond sample packaged with PE/air atmosphere was the least stable, and the light-roasted sample packaged with OPP/CPP under N₂ with PV of 5.3

1 and 2. M.Sc. Graduated student and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran
(Corresponding Author Email: ansari@kau.ac.ir)

(meqO₂/kg oil) and K268 of 1.57 was the most stable form against oxidation. According to the results of sensory analysis, the highest overall acceptability score was attributed to the samples roasted at 100°C for 45 minutes.

Keywords: Heat treatment, Packaging, Wild almond, Qualitative properties, Oxidation.



مقاله پژوهشی

شناسایی ترکیبات شیمیایی، پتانسیل آنتی اکسیدانی و فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دنايي (*Thymus daenensis*) بر قارچ‌های مولد فساد میوه سیب

مصطفی رحمتی جنیدآباد^{۱*} - بهروز عزیزاده بهبهانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰

چکیده

سمیت قارچ‌کش‌های سنتزی و مقاومت پاتوژن‌های قارچی به این عوامل نگهدارنده سبب افزایش تقاضا برای جایگزین‌های طبیعی مانند اسانس‌های گیاهی شده است. در این پژوهش، اسانس آویشن دنايي با کمک روش تقطیر با آب استخراج گردید و ترکیبات تشکیل دهنده آن توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی شناسایی و تعیین مقدار شدند. اسانس آویشن دنايي غنی از تیمول (۶۹/۸۸ درصد)، گاما-تریپنین (۸/۴۹ درصد)، پارا-سیمین (۸/۲۰ درصد) و کارواکرول (۳/۵۵ درصد) بود. علاوه بر این، محتوای فنول و فلاوونوئید کل اسانس به ترتیب ۹۱/۴۵ mg GAE/g و ۴۶/۲۸ mg QE/g به دست آمد که نقش مهمی در فعالیت آنتی اکسیدانی آن ایفا کردند؛ به طوریکه فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH (IC₅₀ معادل ۲۹/۳۰ میلی گرم در میلی لیتر)، رادیکال آزاد ABTS (IC₅₀ معادل ۲۲/۶۸ میلی گرم در میلی لیتر)، جلوگیری از زوال رنگ بتا-کاروتن (۶۲/۲۲ درصد) و احیاء کردن آهن فریک (۳۰/۱۰ μM QE/g) اسانس آویشن دنايي قابل توجه بود. فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دنايي در برابر قارچ‌های مولد فساد میوه سیب (پنی‌سیلیوم اکسیانوسوم، بوتریتیس سینه‌را و آلترناریا آلترناتا) بررسی گردید و پنی‌سیلیوم اکسیانوسوم حساس‌ترین گونه قارچی نسبت به اسانس بود و غلظت‌های کمتری از اسانس جهت جلوگیری از رشد یا از بین بردن این گونه مورد نیاز بود. مطابق نتایج، اسانس آویشن دنايي را می‌توان به عنوان عامل ضدقارچ طبیعی و جایگزین قارچ‌کش‌های شیمیایی جهت جلوگیری از رشد قارچ‌های پاتوژن روی سیب یا سایر محصولات غذایی و افزایش عمر انبارمانی آن‌ها استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آویشن دنايي، اسانس، ضدقارچ طبیعی، فعالیت آنتی اکسیدانی.

مقدمه

کنترل و جلوگیری از بیماری‌های پس از برداشت سبزیجات و میوه‌ها

باشد.

کشور ایران با داشتن شرایط اقلیمی خاص به عنوان یکی از غنی‌ترین منابع گیاهان دارویی در جهان شناخته می‌شود. آویشن یکی از جنس‌های مهم خانواده نعنائیان است که جهت درمان بی‌خوابی و افسردگی و تقویت اعصاب به کار می‌رود و خواص ضدانگلی، ضدباکتریایی و ضدقارچی آن به اثبات رسیده است (Karimipour, Fard et al., 2011). این جنس دارای ۴ گونه انحصاری در ایران می‌باشد که آویشن دنايي (*Thymus daenensis*) یکی از این گونه‌های انحصاری است. سرشاخه‌های گلدار و برگ‌های خشک آویشن دنايي به عنوان قسمت‌های درمانی این گیاه شناخته می‌شوند و اسانس آن

میوه سیب رتبه اول تولید سالیانه (۳/۵ میلیون تن) را در بین محصولات باغی به خود اختصاص داده است. اما این میوه به شدت مستعد فساد قارچی توسط جنس‌های پنی‌سیلیوم، بوتریتیس و آلترناریا پس از برداشت می‌باشد (Nikkhah et al., 2018). در حال حاضر، استفاده از قارچ‌کش‌های سنتزی به عنوان سهل الوصول‌ترین روش مدیریت و کنترل بیماری‌های پس از برداشت سبزیجات و میوه‌ها، به‌ویژه سیب در نظر گرفته می‌شود. با این حال، افزایش نگرانی در مورد آلودگی محیط زیست و ایجاد مسمومیت در انسان و همچنین ظهور گونه‌های قارچی مقاوم به قارچ‌کش‌های سنتزی، تقاضا برای جستجوی روش‌های کم خطرتر را افزایش داده است (Gholamnezhad, 2017). در این راستا، استفاده از ترکیبات با منشأ طبیعی که فعالیت ضدقارچی بالقوه‌ای دارند (مانند اسانس‌های گیاهی)، می‌تواند راه‌حل مؤثری جهت

(* نویسنده مسئول: Email: Rahmati@asnrukh.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.87595

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنج جرمی

از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (Agilent Technologies 5975C، آمریکا) جهت شناسایی ترکیبات شیمیایی گیاه آویشن دناپی استفاده شد. بدین منظور ۰/۲ میکرولیتر از اسانس استخراج شده به ستون دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد. دمای ستون از ۴۰ درجه سانتی‌گراد به ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. از گاز هلیوم با سرعت ۱/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه و انرژی یونش ۷۰ الکترون ولت استفاده گردید (Behbahani et al., 2017).

اندازه‌گیری میزان فنول کل

تعیین مقدار فنول کل اسانس گیاه با استفاده از روش Lee و همکاران (۲۰۱۲) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری گردید. ۵۰ میکرولیتر اسانس با ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فنول فولین-سیوکالتو (۱۰ درصد) به همراه ۱ میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط شد. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر محلول کرنات سدیم ۲۰ درصد به محلول اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در مکان تاریک و در دمای اتاق نگهداری شد. جذب محلول در طول موج ۷۳۵ نانومتر اندازه‌گیری و مقدار فنول کل اسانس برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در گرم اسانس (mg GAE/g) گزارش گردید.

اندازه‌گیری محتوای فلاوونوئید کل

محتوای فلاوونوئید کل اسانس گیاه آویشن دناپی با استفاده از روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید بر اساس روش Hossain و همکاران (۲۰۱۱) با اندکی تغییر اندازه‌گیری شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از اسانس گیاه با ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلراید ۱۰ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر پتاسیم استات ۱ مولار و ۴/۳ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و در دمای اتاق به مدت ۳ دقیقه نگهداری شد. جذب محلول در ۴۱۵ نانومتر اندازه‌گیری گردید. از کوئرستین جهت تهیه منحنی استاندارد استفاده شد و مقدار فلاوونوئید کل برحسب میلی‌گرم کوئرستین در گرم اسانس (mg QE/g) گزارش گردید.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس گیاه آویشن دناپی به چهار روش مهار رادیکال آزاد DPPH، مهار رادیکال آزاد ABTS، روش رنگبری بتا-کاروتن/لینولئیک اسید و روش FRAP اندازه‌گیری گردید.

حاوی ترکیباتی از قبیل تیمول^۱، کارواکرول^۲، گاما-ترپینن^۳، پارا-سیمن^۴ و بتا-کاروفیلن^۵ می‌باشد (Dadashpour et al., 2011a). فعالیت ضدقارچی و آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنولی تیمول و کارواکرول در مطالعات مختلف گزارش شده است (Aeschbach et al., 1994; Marchese et al., 2016; Gursul et al., 2019; Rúa et al., 2019). بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دناپی در برابر قارچ‌های مولد فساد میوه سیب (پنی‌سیلیوم/اکسپانسونوم، بوتریتیس سینه‌را و آلترناریا آلترناتا) در شرایط آزمایشگاهی می‌باشد. علاوه بر این، ترکیبات مؤثره اسانس آویشن دناپی توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی شناسایی شدند و محتوای فنول کل، فلاوونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس نیز بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش شامل بتا-کاروتن، لینولئیک اسید، معرف فولین-سیوکالتو، رادیکال آزاد ABTS، رادیکال آزاد DPPH، کلروفرم و توئین ۴۰ از شرکت سیگما (آمریکا) و محیط‌های کشت سابروز دکستروز آگار و سابروز دکستروز براث از شرکت مرک (آلمان) تهیه شدند.

سویه‌های میکروبی آلترناریا آلترناتا^۶ (PTCC 5224)، پنی‌سیلیوم/اکسپانسونوم^۷ (ATCC 48914) و بوتریتیس سینه‌را^۸ (ATCC 28387) از آزمایشگاه میکروبیولوژی صنعتی گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند.

استخراج اسانس گیاه آویشن دناپی

پس از تأیید نام علمی گیاه (*Thymus daenensis*) عمل اسانس‌گیری با روش تقطیر با آب انجام گردید. بدین ترتیب که ۵۰ گرم از گیاه پودر و الک شده به ۷۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دستگاه کلونجر اضافه گردید. استخراج اسانس با سرعت تقطیر ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه به مدت ۳ ساعت طول کشید. سپس اسانس حاصل در ظروف تیره رنگ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت انجام آزمون‌های ضد میکروبی و شیمیایی نگهداری شد (Zandi-Sohani et al., 2013). بازده اسانس گیاه بر اساس وزن اسانس به‌دست آمده تقسیم بر وزن خشک گیاه و به صورت درصد وزنی/وزنی محاسبه گردید.

5 β -Caryophyllene

6 *Alternaria alternata*

7 *Penicillium expansum*

8 *Botrytis cinerea*

1 Thymol

2 Carvacrol

3 γ -terpinen

4 p-Cymene

مهار رادیکال آزاد DPPH

جهت انجام این آزمون ۵۰ میکرولیتر از اسانس با ۵ میلی لیتر از محلول متانولی DPPH ترکیب و پس از گذشت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق جذب نمونه در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه گیری گردید. فعالیت آنتی اکسیدانی بر اساس فرمول زیر محاسبه و گزارش گردید (Kizil et al., 2010).

$$(1) \quad 100 \times (A_{\text{شاهد}} - A_{\text{نمونه}}) / A_{\text{شاهد}} = \text{فعالیت مهارکنندگی (درصد)}$$

فعالیت مهار رادیکال آزاد ABTS

از روش Shan و همکاران (۲۰۰۵) با کمی تغییر جهت اندازه گیری فعالیت مهار رادیکال آزاد ABTS استفاده گردید. در نتیجه واکنش مقادیر یکسان ABTS (۰/۷ میلی مولار) و پتاسیم پرسولفات (۲/۴۵ میلی مولار) و نگهداری مخلوط به مدت ۱۶ ساعت در دمای اتاق و در تاریکی محلول کاتیون ABTS* حاصل گردید. سپس محلول ABTS* با استفاده از متانول تا رسیدن به جذب ۰/۷ در طول موج ۷۳۴ نانومتر رقیق شد. در ادامه، ۳/۹ میلی لیتر از محلول رقیق شده ABTS* با ۰/۱ میلی لیتر اسانس یا ۰/۱ میلی لیتر متانول (به عنوان نمونه کنترل) مخلوط گردید. مخلوط حاصل به مدت ۶ دقیقه در دمای اتاق نگهداری و جذب آن در ۷۳۴ نانومتر اندازه گیری شد. فعالیت مهار رادیکال آزاد ABTS بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

$$(2) \quad 100 \times [(A_{\text{کنترل}} - A_{\text{نمونه}}) / A_{\text{کنترل}}] = \text{فعالیت مهارکنندگی رادیکال ABTS (درصد)}$$

روش رنگبری بتا-کاروتن/لینولئیک اسید

ابتدا ۲۰ میکرولیتر بتاکاروتن (۲۰ mg/ml) در کلروفرم) به ۴۰ میکرولیتر لینولئیک اسید و ۴۰ میلی گرم توئین ۴۰ و یک میلی لیتر کلروفرم اضافه گردید. کلروفرم به مدت ۵ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد تبخیر و بلافاصله ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه و رقیق گردید. آب مقطر به مخلوط اضافه و هم زده شد. سپس ۲/۵ میلی لیتر از این محلول به ۳۵۰ میکرولیتر از اسانس اضافه شد و در ۵۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت حرارت داده شد. جذب محلول هر ۳۰ دقیقه در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه گیری گردید. از نمونه فاقد بتاکاروتن به عنوان شاهد استفاده شد. فعالیت آنتی اکسیدانی به صورت درصد بازداری اکسایش بتاکاروتن و طبق فرمول زیر محاسبه گردید (Lee et al., 2012):

$$(3) \quad 100 \times (A_{\text{شاهد}} - A_{\text{نمونه}}) / A_{\text{شاهد}} = \text{درصد بازداری (درصد)}$$

قدرت احیاء کنندگی آهن فریک^۱ (FRAP)

در این روش، ۵۰ میکرولیتر از اسانس با ۱/۵ میلی لیتر معرف FRAP مخلوط و به مدت ۵ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد نگهداری شد. جذب نمونه در طول موج ۵۹۴ نانومتر اندازه گیری گردید. از آهن Fe (II) جهت رسم منحنی استاندارد استفاده شد (Nanasombat et al., 2011).

آزمون های ضد میکروبی

از ۴ آزمون دیسک دیفیوژن آگار^۲، انتشار چاهک در آگار^۳، حداقل غلظت مهارکنندگی^۴ و حداقل غلظت کشندگی^۵ جهت تعیین خاصیت ضدقارچی اسانس آویشن دناپی استفاده شد.

دیسک دیفیوژن آگار

بدین منظور، ابتدا اسانس گیاه آویشن دناپی توسط فیلتر غشایی با قطر ۰/۲۲ میکرونی استریل گردید. پلیت های حاوی سابروز دکستروز آگار استریل ۱۰۰ میکرولیتر از هر یک از قارچ های مورد بررسی روی آن کشت گردید. میزان ۲۰ میکرولیتر به دیسک های قرار گرفته بر سطح محیط کشت به آرامی اضافه شد و در نهایت پتری دیش ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۷ درجه سانتی گراد قرار داده شد. پس از پایان زمان گرمخانه گذاری قطر هاله های عدم رشد (بر حسب میلی متر) به عنوان مناطق مهارکننده گزارش گردید (Noshad et al., 2018).

انتشار چاهک در آگار

در این روش چاهک هایی در پلیت های حاوی سابروز دکستروز آگار و قارچ های مورد بررسی ایجاد شد. سپس ۲۰ میکرولیتر از اسانس استریل به چاهک ها اضافه گردید. پس از آن پلیت ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۷ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. قطر هاله عدم رشد بر حسب میلی متر اندازه گیری گردید (Behbahani et al., 2019).

حداقل غلظت مهارکنندگی

از روش علیزاده بهبهانی و همکاران (۲۰۱۸) با اندکی تغییرات جهت اندازه گیری حداقل غلظت مهارکنندگی اسانس گیاه آویشن دناپی استفاده شد. پس از استریل اسانس با استفاده از فیلترهای ۰/۴۵ میکرونی، ۲۰۰ میکرولیتر از غلظت های مختلف (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در میلی لیتر) به لوله های آزمایش حاوی ۲۰ میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی اضافه گردید. پس از گرمخانه گذاری لوله ها در

4 Minimum inhibitory concentration (MIC)

5 Minimum fungicidal concentration (MFC)

1 Ferric reducing antioxidant power

2 Disk diffusion agar (DDA)

3 Well diffusion agar (WDA)

دمای ۲۷ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت رشد توسط کدورتی که ایجاد شده بود با چشم مشاهده گردید.

حداقل غلظت کشندگی

در این روش، ۱۰۰ میکرولیتر از لوله‌هایی که در آن‌ها کدورتی مشاهده نگردید، بر سطح پلیت‌های حاوی محیط کشت سابروز دکستروز آگار کشت داده شد. پس از پایان گرمخانه‌گذاری (۷۲ ساعت در دمای ۲۷ درجه سانتی گراد) حداقل غلظتی که در آن هیچگونه رشدی مشاهده نشد به عنوان حداقل غلظت کشندگی گزارش گردید (Yeganegi et al., 2018).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمامی آزمایشات در ۳ تکرار انجام شدند و نتایج به صورت "انحراف معیار $\pm$ میانگین گزارش شده‌اند. نتایج به دست آمده در این پژوهش با کمک نرم افزار SPSS آنالیز شدند و مقایسه میانگین نتایج توسط آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) بررسی گردید.

نتایج و بحث

بازده و ترکیب شیمیایی اسانس

میانگین بازده استخراج اسانس از برگ‌ها و سرشاخه‌های جوان آویشن دناپی ۱/۲۶ درصد وزنی/ وزنی بود. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، عمده‌ترین ترکیبات اسانس آویشن دناپی شامل تیمول (۶۹/۸۸ درصد)، گاما-ترپینن (۸/۴۹ درصد)، پارا-سیمن (۸/۲۰ درصد) و کارواکرول (۳/۵۵ درصد) بودند. از سایر ترکیبات شناسایی شده در اسانس می‌توان به بتا-کاریوفیلن، آلفا-ترپینن، آلفا-پینن، لینالول، بورنئول، اوکالیپتول و کارواکرول متیل اتر اشاره نمود. با مقایسه نتایج این مطالعه با یافته‌های سایر محققین، تفاوت‌هایی در نوع و غلظت ترکیبات اسانس آویشن دناپی مشاهده می‌شود. نعمتی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که بازده اسانس آویشن دناپی ۱/۳۰ درصد و ترکیبات اصلی تشکیل دهنده آن به ترتیب تیمول (۶۷/۲ درصد)، گاما-ترپینن (۹/۹ درصد)، پارا-سیمن (۵/۵ درصد)، آلو-آرومادندرن^۱ (۵/۵ درصد) و کارواکرول (۲/۵ درصد) بودند. در مطالعه Nikavar و همکاران (۲۰۰۵) مشخص گردید که بازده متوسط تولید اسانس آویشن دناپی ۲/۴ درصد است؛ عمده‌ترین ترکیبات سازنده اسانس شامل تیمول (۷۴/۷ درصد)، پارا-سیمن (۶/۵ درصد)، بتاکاریوفیلن (۳/۸ درصد) و متیل کارواکرول (۳/۶ درصد) بودند و ۷۹/۶ درصد از ترکیبات شناسایی شده در گروه فنول‌های مونوترپنی قرار گرفتند.

با مقایسه تأثیر مراحل مختلف برداشت بر ترکیبات موجود در اسانس اندام هوایی آویشن دناپی، صفایی و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمودند که تیمول ترکیب غالب اسانس بوده و بیشترین مقدار آن (۸۵/۹ درصد) در مرحله ابتدای گلدهی مشاهده می‌شود؛ مقدار تیمول در مراحل ۵۰ درصد گلدهی، گلدهی کامل و بذردهی به ترتیب ۷۹/۷ درصد، ۸۲/۲ درصد و ۷۳/۶ درصد می‌باشد. محتوای تیمول ۷۸/۳-۵۱/۳ درصد، ۷/۶-۲/۷ درصد پارا-سیمن، ۱۰/۱-۲/۷ درصد گاما-ترپینن، ۹/۲-۲ درصد کارواکرول و ۴/۳-۲/۴ درصد بتا-کاریوفیلن در اسانس آویشن دناپی برداشت شده از مناطق مختلف استان اصفهان نیز در مطالعه برازنده و باقرزاده (۲۰۰۷) گزارش شده است. تفاوت در نوع و غلظت ترکیبات تشکیل دهنده اسانس ناشی از عوامل داخلی و خارجی مختلفی از قبیل ژنتیک، مرحله رشد، ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی، دما، رطوبت، مقدار گیاه مورد نیاز جهت اسانس‌گیری و روش‌های مختلف اسانس‌گیری می‌باشد (Barzegar et al., 2020).

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی اسانس آویشن دناپی با استفاده از کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی

شماره	ترکیبات تشکیل دهنده	درصد
۱	α -Thujene	۰/۶۳
۲	α -Pinene	۰/۵۱
۳	α -Terpinene	۱/۱۳
۴	p-Cymene	۸/۲۰
۵	Eucalyptol	۰/۵۵
۶	γ -Terpinen	۸/۴۹
۷	Terpinolene	۰/۶
۸	Linalool	۱
۹	Borneol	۰/۹۴
۱۰	Carvacrol methyl ether	۰/۸۷
۱۱	Thymol	۶۹/۸۸
۱۲	Carvacrol	۳/۵۵
۱۳	β -Caryophyllene	۲/۴۵
۱۴	α -Humulene	۰/۱۹
۱۵	β -Bisabolene	۰/۴۰
کل		۹۹/۳۹

محتوای فنول و فلاوونوئید کل

اسانس آویشن دناپی غنی از ترکیبات فنولی (۹۱/۴۵ mg GAE/g) و فلاوونوئیدی (۴۶/۲۸ mg QE/g) بود (جدول ۲) که نقش بسزایی در خواص دارویی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدقارچی آن ایفا می‌کند.

اسید اشاره داشت. علاوه بر این، گیاه آویشن دناپی حاوی مقادیر قابل توجهی ترکیبات فلاوونوئیدی مانند کوئرستین، آپیجین، لوتئولین، نارینجین و روتین می باشد (Bistgani and Sefidkon, 2019). اختلاف بین نتایج محتوای فنول و فلاوونوئید کل در این پژوهش در مقایسه با مطالعات سایر محققین به تفاوت های اکولوژیکی گیاه (ارتفاع، رطوبت، دما، طول و عرض جغرافیایی، اقلیم و خاک) و شرایط استخراج اسانس (دما، نوع حلال، زمان استخراج و نسبت حلال به ماده) نسبت داده می شود. ترکیبات فنولی (به ویژه تیمول) و فلاوونوئیدی نقش مهمی در ظرفیت آنتی اکسیدانی و اثر ضد میکروبی اسانس های زیست فعال ایفا می کنند (Noshad et al., 2020).

محتوای فنول کل معادل ۶/۴۴ mg GAE/g (Dadashpour et al., 2011b)، ۱۰۸ mg GAE/g (Khoshsokhan et al., 2015) و ۱۴۰ mg GAE/g (Alavi et al., 2010) و محتوای فلاوونوئید کل معادل ۷۰/۵۶ mg QE/g (Tohidi et al., 2017) و ۴۸/۸ mg QE/g (Amiri, 2012) در اسانس آویشن دناپی گزارش شده است. مقدار بالای فنول کل اسانس آویشن دناپی به دلیل غلظت بالای تیمول آن است که به عنوان ترکیب فنولی مونوترپنی شناخته می شود (García et al., 2006). از دیگر ترکیبات فنولی آویشن دناپی می توان به اسیدهای فنولی از قبیل سیرینجیک، گالیک، وانیلیک، کافئیک، کلروژنیک، رومارینیک، سینامیک و ترانس-۲-هیدروسینامیک

جدول ۲- محتوای فنول کل، فلاوونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس آویشن دناپی

فعالیت آنتی اکسیدانی					
فنول کل (mg GAE/g)	فلاوونوئید کل (mg QE/g)	مهار رادیکال DPPH (IC ₅₀ ; µg/ml)	مهار رادیکال ABTS (IC ₅₀ ; µg/ml)	بتا-کاروتن/لینولئیک اسید (درصد)	FRAP (µM QE/g)
۹۱/۴۵±۰/۳۷	۴۶/۲۸±۰/۴۳	۲۹/۳۰±۰/۶۰	۲۲/۶۸±۰/۴۴	۶۲/۲۲±۰/۸۰	۳۰/۱۰±۰/۳۸

مطابق نتایج، فعالیت مهار رادیکال های آزاد DPPH و ABTS بر پایه IC₅₀ اسانس آویشن دناپی به ترتیب ۲۹/۳۰ و ۲۲/۶۸ µg/ml بود. قابلیت اسانس در جلوگیری از افت رنگ محلول بتا-کاروتن/لینولئیک اسید بالا بود، به طوریکه به میزان ۶۲/۲۲ درصد از زوال رنگ بتا-کاروتن جلوگیری نمود. فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس آویشن دناپی بر پایه روش FRAP نیز معادل ۳۰/۱۰ µM QE/g بود. درصد بازداری افت رنگ بتا-کاروتن معادل ۸۸/۴ درصد و فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH بر پایه IC₅₀ معادل ۹۹/۶ µg/ml در اسانس آویشن دناپی در مطالعه امیری (۲۰۱۲) گزارش شده است. به علاوه، میزان (مهار رادیکال آزاد DPPH) برابر با ۲۰ µg/ml اسانس آویشن دناپی توسط Khoshsokhan و همکاران (۲۰۱۵) اندازه گیری شده است. در مطالعه علوی و همکاران (۲۰۱۰) مشخص گردید که اسانس آویشن دناپی دارای فعالیت آنتی اکسیدانی قابل توجهی در برابر رادیکال های آزاد DPPH (میزان IC₅₀ برابر با ۰/۸ µg/ml) و جلوگیری از زوال رنگ بتا-کاروتن (درصد بازداری حدود ۹۵ درصد) می باشد. با مطالعه اثر مراحل گلدهی بر فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس آویشن دناپی، علیزاده و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس حاصل از گیاه در مرحله گلدهی به طور معنی داری بالاتر از اسانس به دست آمده از گیاه قبل از مرحله گلدهی است که به محتوای فنول کل بالاتر آن نسبت داده شد؛ به طوریکه میزان IC₅₀ (مهار رادیکال آزاد DPPH) و FRAP اسانس به ترتیب در محدوده ۸/۴۶-۸/۲۳ µg/ml و ۲۶/۴۵-۲۴/۲۳ µM QE/g بود. فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس آویشن دناپی توسط Saidi و همکاران (۲۰۱۴) نیز بررسی شده است و فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس بر پایه مهار رادیکال ABTS، مهار رادیکال آزاد

فعالیت آنتی اکسیدانی

آزمون های آنتی اکسیدانی "در شرایط برون تنی" جهت شبیه سازی واکنش های اکسیداسیون-احیاء در سامانه های بیولوژیکی زنده طراحی شده اند و به طور گسترده ای برای اندازه گیری ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه های شیمیایی و بیولوژیکی مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. در مطالعه حاضر، از ۴ روش آنتی اکسیدانی متداول فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH، مهار رادیکال ABTS، رنگبری محلول بتا-کاروتن/لینولئیک اسید و قدرت احیاء کنندگی آهن فریک (FRAP) جهت ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس آویشن دناپی استفاده شد و نتایج در جدول ۲ گزارش شده اند.

آزمون فعالیت مهار رادیکال های آزاد DPPH بر پایه انتقال هیدروژن از ترکیب آنتی اکسیدان به رادیکال آزاد DPPH استوار است که در این حالت مولکول پایدار DPPH-H تشکیل شده و رنگ محلول از ارغوانی به زرد تغییر می یابد (Bai et al., 2017). در آزمون مهار رادیکال ABTS، رادیکال مونوکاتیونی ABTS (ABTS^{•+}) توسط ترکیبات آنتی اکسیدانی با قابلیت اهداء هیدروژن احیاء می شود که با کاهش جذب محلول در ۷۳۴ نانومتر همراه است (Pinto et al., 2005). آزمون رنگبری محلول بتا-کاروتن/لینولئیک بر پایه افت رنگ زرد بتا-کاروتن در اثر واکنش با رادیکال های تشکیل شده از اکسیداسیون لینولئیک می باشد که سرعت افت رنگ بتا-کاروتن در حضور ترکیبات آنتی اکسیدانی کاهش می یابد (Wang et al., 2010). در آزمون FRAP، قابلیت ماده آنتی اکسیدان در اهداء الکترون و متعاقباً احیاء آهن فریک به نوع فروس ارزیابی می گردد (Firuzi et al., 2005).

DPPH و FRAP را به ترتیب $1/5$ mM Torolox/ μ l و $70/9$ درصد و $5/5$ mM Fe^{2+} / μ l گزارش نمودند. تفاوت مشاهده شده بین نتایج فعالیت آنتی اکسیدانی در این مطالعه و سایر مشاهدات محققین می تواند ناشی از غلظت اسانس مورد استفاده، غلظت ترکیبات فنولی و فلاوونوئیدی اسانس، مراحل مختلف رشد گیاه و سایر عوامل محیطی تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت اسانس باشد.

ترکیبات فنولی و فلاوونوئیدی منابع طبیعی عمده ترین ترکیباتی می باشند که به عنوان آنتی اکسیدان و دهنده الکترون و هیدروژن عمل می کنند. تیمول و کارواکرول از ترکیبات فنولی اصلی گیاه آویشن دنیایی به شمار می روند که نقش مهمی در فعالیت آنتی اکسیدانی این گیاه ایفا می کنند. با توجه به بومی بودن گیاه آویشن دنیایی و دسترسی ارزان و آسان به این گیاه دارویی، می توان اسانس آن را استخراج و به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی و جایگزین آنتی اکسیدان های سنتزی در صنعت غذا و به منظور جلوگیری از تخریب اکسیداتیو مواد غذایی به کار برد.

فعالیت ضدقارچی

فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دنیایی در برابر قارچ های مولد فساد میوه سیب (پنی سیلیوم اکسپانسونم، بوتریتیس سینه را و آلترناریا آلترناتا)

در جدول های ۳ و ۴ نشان داده شده است. اسانس آویشن دنیایی فعالیت ضدقارچی قابل توجهی نسبت به قارچ های مولد فساد نشان داد و اثر ضدقارچی آن وابسته به نوع گونه قارچی بود. در روش های ضد میکروبی دیسک دیفیوژن آگار و چاهک آگار، بالاترین و کمترین قطر هاله عدم رشد به ترتیب برای قارچ های پنی سیلیوم اکسپانسونم و بوتریتیس سینه را مشاهده شد. با مقایسه قطر هاله عدم رشد در این دو روش ضد میکروبی مشخص گردید که قطر هاله عدم رشد در آزمون چاهک آگار بزرگتر از آزمون دیسک دیفیوژن آگار است؛ این حالت ناشی از این حقیقت است که اسانس آویشن دنیایی در آزمون ضد میکروبی چاهک آگار در تماس مستقیم با قارچ ها قرار دارد، اما سازوکار ضد میکروبی اسانس در روش دیسک دیفیوژن آگار بر پایه انتشار اسانس از سطح دیسک های بلانک به محیط کشت استوار است که قطر هاله عدم رشد کوچکتری را سبب می شود (Behbahani et al., 2019). نتایج فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دنیایی به روش حداقل غلظت مهارکنندگی و کشندگی نشان داد که غلظت کمتری از اسانس جهت جلوگیری از رشد یا از بین بردن پنی سیلیوم اکسپانسونم مورد نیاز است. اگرچه حداقل غلظت مهارکنندگی اسانس برای بوتریتیس سینه را بیشتر از آلترناریا آلترناتا بود، اما حداقل غلظت کشندگی برای این دو گونه قارچی برابر بود.

جدول ۳- ارزیابی فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دنیایی به روش دیسک دیفیوژن آگار و چاهک آگار بر قارچ های مولد فساد میوه سیب

قارچ	دیسک دیفیوژن آگار (میلی متر)	چاهک آگار (میلی متر)
پنی سیلیوم اکسپانسونم	$14/10 \pm 0/36^{bA}$	$15/90 \pm 0/28^{aA}$
بوتریتیس سینه را	$10/30 \pm 0/41^{aB}$	$11/00 \pm 0/54^{aC}$
آلترناریا آلترناتا	$11/90 \pm 0/30^{bB}$	$13/60 \pm 0/28^{aB}$

حروف غیرمشابه کوچک در یک ردیف نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح معنی داری ۵ درصد است.

حروف غیرمشابه بزرگ در یک ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح معنی داری ۵ درصد است.

جدول ۴- ارزیابی فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دنیایی به روش های حداقل غلظت مهارکنندگی (میلی گرم بر میلی لیتر) و حداقل غلظت کشندگی (میلی گرم بر میلی لیتر) بر قارچ های مولد فساد میوه سیب

روش آزمون	پنی سیلیوم اکسپانسونم	بوتریتیس سینه را	آلترناریا آلترناتا
حداقل غلظت مهارکنندگی (میکروداپلوشن برآث)	۱۲/۵	۵۰	۲۵
حداقل غلظت مهارکنندگی (رقت آگار)	۱۲/۵	۱۰۰	۲۵
حداقل غلظت کشندگی	۵۰	۱۰۰	۱۰۰

گیاهی، به علت ماهیت آبگریز خود، جذب میسلیم آبگریز شده و به این طریق از رشد میسلیم قارچ جلوگیری می کند (Znini et al., 2013). لازم به ذکر است که ترکیبات متعددی در اسانس گیاهان دارویی حضور دارند و بنابراین چندین مکانیسم در فعالیت ضدقارچی آنها نقش دارند؛ به طور مثال، به نظر می رسد که بعضی از ترکیبات اسانس سبب افزایش نفوذپذیری غشا و سپس تخریب غشای خارجی

به طور کلی، فعالیت بیولوژیکی اسانس گیاهی به ترکیبات فنولی آن (مانند تیمول و کارواکرول) نسبت داده می شود. فعالیت ضد میکروبی این ترکیبات احتمالاً ناشی از حضور هسته آروماتیک و گروه OH فنولی واکنشگر در ساختار آنها می باشد که قابلیت تشکیل پیوند هیدروژنی با گروه های SH- مکان فعال آنزیم های هدف را دارا بوده و از این طریق سبب غیرفعال شدن آنزیم های قارچی می شوند. علاوه بر این، اسانس

تشکیل دهنده آن قابلیت اهداء الکترون و هیدروژن را دارا بوده و از این طریق سبب مهار رادیکال‌های آزاد می‌شوند. علاوه بر این، اسانس آویشن دناپی عامل ضدقارچی مؤثری در برابر قارچ‌های مولد فساد میوه سیب (پنی‌سیلیوم/کسیپانسونم، بوتریتیس سینه‌را و آلترناریا آلترناتا) بود و بنابراین می‌توان این اسانس را به‌عنوان جایگزین قارچ‌کش‌های شیمیایی جهت جلوگیری از فساد قارچی سیب و سایر محصولات غذایی طی نگهداری به‌کار برد؛ به‌طوری‌که اسانس‌های گیاهی سمیت کمتری داشته و زیست تجزیه‌پذیر می‌باشند. با این حال، ضروری است که فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دناپی در برابر رشد قارچ‌های پاتوژن روی میوه سیب و قبل از معرفی آن به‌عنوان عامل قارچ‌کش مؤثر به بازار بررسی گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

قارچ می‌شوند، درحالی‌که سایر ترکیبات منجر به کاهش اندازه قارچ و اصلاح مورفولوژی سلول آن می‌گردند (El Ouadi et al., 2017). در راستای نتایج این مطالعه، گزارش شده است که فعالیت ضدقارچی قابل توجه اسانس آویشن در برابر قارچ‌های پاتوژن پنی‌سیلیوم/کسیپانسونم، بوتریتیس سینه‌را و آلترناریا آلترناتا ناشی از حضور ترکیبات مونوترپنی فنولی تیمول و کارواکرول در اسانس می‌باشد (Nikkhah et al., 2018). فعالیت ضدقارچی اسانس آویشن دناپی (۴۷/۸۹-۹۰/۳۴ درصد بازداری) نسبت به قارچ‌های آلترناریا سولانی، فوزاریوم سولانی و راینوکتونیا سولانی در مطالعه Alizadeh و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اسانس آویشن دناپی غنی از ترکیبات زیست فعال از قبیل تیمول (۶۹/۸۸ درصد) می‌باشد که نقش مهمی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدقارچی آن ایفا می‌کند. بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس آویشن دناپی نشان داد که ترکیبات

منابع

- Aeschbach, R., Löliger, J., Scott, B. C., Murcia, A., Butler, J., Halliwell, B., & Aruoma, O. I. (1994). Antioxidant actions of thymol, carvacrol, 6-gingerol, zingerone and hydroxytyrosol. *Food and Chemical Toxicology*, 32(1), 31-36.
- Alavi, L., Barzegar, M., Jabari, A., & NAGHDI, B. H. (2010). Effect of heat treatment on chemical composition and antioxidant property of *Thymus daenensis* essential oil. *Journal of Medicinal Plants*, 9(35), 129-138.
- Alizadeh Behbahani, B., & Imani Fooladi, A. A. (2018). Development of a novel edible coating made by Balangu seed mucilage and Feverfew essential oil and investigation of its effect on the shelf life of beef slices during refrigerated storage through intelligent modeling. *Journal of Food Safety*, 38(3), e12443.
- Alizadeh, A., Alizadeh, O., Amari, G., & Zare, M. (2013). Essential oil composition, total phenolic content, antioxidant activity and antifungal properties of Iranian *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* Celak. as influenced by ontogenetical variation. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(1), 59-70.
- Amiri, H. (2012). Essential oils composition and antioxidant properties of three thymus species. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012.
- Bai, W., Wang, Q., Zeng, X., Fu, J., Liu, Y., & Dong, H. (2017). Antioxidant activities of chicken peptide-Maillard reaction products (CP-MRPS) derived from chicken peptides and d-glucose system. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e13041.
- Barazandeh, M., & Bagherzadeh, K. (2007). Investigation on the Chemical Composition of the Essential of *Thymus daenensis* Celak from Four Different Regions of Isfahan Province. *Journal of Medicinal Plants*, 6(23), 15-19.
- Barzegar, H., Behbahani, B. A., & Mehrnia, M. A. (2020). Quality retention and shelf life extension of fresh beef using *Lepidium sativum* seed mucilage-based edible coating containing *Heracleum lasiopetalum* essential oil: an experimental and modeling study. *Food Science and Biotechnology*, 29, 717-728.
- Behbahani, B. A., Noshad, M., & Falah, F. (2019). Cumin essential oil: Phytochemical analysis, antimicrobial activity and investigation of its mechanism of action through scanning electron microscopy. *Microbial Pathogenesis*, 136, 103716.
- Behbahani, B. A., Shahidi, F., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Mohebbi, M. (2017). Use of *Plantago major* seed mucilage as a novel edible coating incorporated with *Anethum graveolens* essential oil on shelf life extension of beef in refrigerated storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94, 515-526.
- Bistgani, Z. E., & Sefidkon, F. (2019). Review on ethnobotany, phytochemical, molecular and pharmacological activity of *Thymus daenensis* Celak. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, 101400.
- Dadashpour, M., Rasooli, I., Sefidkon, F., Rezaei, M. B., & Darvish Alipour Astaneh, S. (2011b). Lipid peroxidation inhibition, superoxide anion and nitric oxide radical scavenging properties of *Thymus daenensis* and *Anethum graveolens* essential oils. *Journal of Medicinal Plants*, 1(37), 109-120.

- Dadashpour, M., Rasooli, I., Sorouri Zanjani, R., Sefidkon, F., Taghizadeh, M., & Darvish Alipour Astaneh S. (2011a). Antimicrobial, nitric oxide radical scavenging and cytotoxic properties of *Thymus daenensis* essential oil. *Pathobiology Research*, 14(1), 37-47.
- El Ouadi, Y., Manssouri, M., Bouyanzer, A., Majidi, L., Bendaif, H., Elmsellem, H., & Hammouti, B. (2017). Essential oil composition and antifungal activity of *Melissa officinalis* originating from north-Est Morocco, against postharvest phytopathogenic fungi in apples. *Microbial Pathogenesis*, 107, 321-326.
- Firuzi, O., Lacanna, A., Petrucci, R., Marrosu, G., & Saso, L. (2005). Evaluation of the antioxidant activity of flavonoids by "ferric reducing antioxidant power" assay and cyclic voltammetry. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1721(1-3), 174-184.
- García, D. A., Bujons, J., Vale, C., & Suñol, C. (2006). Allosteric positive interaction of thymol with the GABAA receptor in primary cultures of mouse cortical neurons. *Neuropharmacology*, 50(1), 25-35.
- Gholamnezhad, J. (2017). Effect of plant extracts against apple gray mold caused by *Botrytis cinerea*. *Journal of Applied Microbiology in Food Industry*, 3(1), 53-66.
- Gursul, S., Karabulut, I., & Durmaz, G. (2019). Antioxidant efficacy of thymol and carvacrol in microencapsulated walnut oil triacylglycerols. *Food Chemistry*, 278, 805-810.
- Hossain, M. A., Shah, M. D., Gnanaraj, C., & Iqbal, M. (2011). In vitro total phenolics, flavonoids contents and antioxidant activity of essential oil, various organic extracts from the leaves of tropical medicinal plant *Tetrastigma* from Sabah. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(9), 717-721.
- Karimipour Fard, M., Mirzaei, A., Kargar, M., Khosravani, S. A. M., & Mohamadi, R. (2011). Antibacterial activities of *Thymus Danaensis*, Jaft and hydro-alcoholic extract of green hull *Pistacia atlantica* on *Listeria monocytogenes*. *Armaghane-danesh, Yasuj University of Medical Sciences Journal*, 17(1), 68-77.
- Khoshshokhan, F., Babalar, M., Poormeidani, A., & Fatahi, M. R. (2015). Antioxidant Activity, Total Phenolics and Oil Content of Some *Thymus kotschyianus* and *Thymus daenensis* Populations. *Plant Production Technology*, 7(1), 153-162.
- Kizil, S., Hasimi, N., Tolan, V., Kilinc, E., & Yuksel, U. (2010). Mineral content, essential oil components and biological activity of two mentha species (*M. piperita* L., *M. spicata* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 15(2), 148-153.
- Lee, W. C., Mahmud, R., Pillai, S., Perumal, S., & Ismail, S. (2012). Antioxidant activities of essential oil of *Psidium guajava* L. leaves. *APCBEE Procedia*, 2, 86-91.
- Marchese, A., Orhan, I. E., Daglia, M., Barbieri, R., Di Lorenzo, A., Nabavi, S. F., & Nabavi, S. M. (2016). Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature. *Food Chemistry*, 210, 402-414.
- Nanasombat, S., & Wiumuttigol, P. (2011). Antimicrobial and antioxidant activity of spice essential oils. *Food Science and Biotechnology*, 20(1), 45-53.
- Nemati, Sh., Sefidkon, F., & Poorherave, M. (2011). The effects of drying methods on essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(1), 72-80.
- Nikavar, B., Mojab, F., & Dolat-Abadi, R. (2005) Composition of the volatile oil of *Thymus daenensis* Celak. subsp. *daenensis*. *Journal of Medicinal Plants*, 4(13), 45-49.
- Nikkhah, M., Habibi Najafi, M. B., Hashemi, M., & Farhoosh, R. (2018). Antifungal activity and synergistic effects of thyme, cinnamon, rosemary and marjoram essential oils in combination, against apple rot fungi. *Journal of Food Research*, 29(1), 43-54.
- Noshad, M., Alizadeh Behbahani, B., & Dehghani, S. (2020). Improving oxidative and microbial stability of beef by using a bioactive edible coating obtained from *Plantago lanceolata* seed mucilage and loaded with *Thymus vulgaris*. *Food Science and Technology*, 17(101), 1-13
- Noshad, M., Hojjati, M., & Behbahani, B. A. (2018). Black Zira essential oil: Chemical compositions and antimicrobial activity against the growth of some pathogenic strain causing infection. *Microbial Pathogenesis*, 116, 153-157.
- Pinto, P. C., Saraiva, M. L. M., Reis, S., & Lima, J. L. (2005). Automatic sequential determination of the hydrogen peroxide scavenging activity and evaluation of the antioxidant potential by the 2, 2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical cation assay in wines by sequential injection analysis. *Analytica chimica acta*, 531(1), 25-32.
- Rúa, J., del Valle, P., de Arriaga, D., Fernández-Álvarez, L., & García-Armesto, M. R. (2019). Combination of carvacrol and thymol: Antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and antioxidant activity. *Foodborne Pathogens and Disease*, 16(9), 622-629.
- Safaei, L., Sharifi Ashoorabadi, E., Zeinali, H., & Mirza, M. (2012). The effect of different harvesting stages on aerial parts yield, essential oil percentage and main components of *Thymus daenensis* Celak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(2), 342-355.
- Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7749-7759.
- Tohidi, B., Rahimmalek, M., & Arzani, A. (2017). Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Thymus* species collected from different regions of Iran. *Food Chemistry*, 220, 153-161.

- Wang, J., Liu, H., Zhao, J., Gao, H., Zhou, L., Liu, Z., ... & Sui, P. (2010). Antimicrobial and antioxidant activities of the root bark essential oil of *Periploca sepium* and its main component 2-hydroxy-4-methoxybenzaldehyde. *Molecules*, 15(8), 5807-5817.
- Yeganegi, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., Asili, J., Behbahani, B. A., & Beigbabaei, A. (2018). *Equisetum telmateia* extracts: Chemical compositions, antioxidant activity and antimicrobial effect on the growth of some pathogenic strain causing poisoning and infection. *Microbial Pathogenesis*, 116, 62-67.
- Zandi-Sohani, N., Hojjati, M., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2013). Insecticidal and repellent activities of the essential oil of *Callistemon citrinus* (Myrtaceae) against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Neotropical Entomology*, 42(1), 89-94.
- Znini, M., Cristofari, G., Majidi, L., Paolini, J., Desjobert, J. M., & Costa, J. (2013). Essential oil composition and antifungal activity of *Pulicaria mauritanica* Coss., against postharvest phytopathogenic fungi in apples. *LWT-Food Science and Technology*, 54(2), 564-569.



Identification of chemical compounds, antioxidant potential, and antifungal activity of *Thymus daenensis* essential oil against spoilage fungi causing apple rot

M. Rahmati-Joneidabad^{*1}, B. Alizadeh Behbahani²

Received: 2020.07.03

Accepted: 2020.08.31

Introduction: Apple fruit is highly susceptible to fungal spoilage by *Penicillium*, *Botrytis*, and *Alternaria* species. Currently, the use of synthetic fungicides is considered to be the most accessible method of managing and controlling post-harvest diseases of vegetables and fruits, especially apples. However, increasing concern about environmental pollution, the toxicity, and the resistance of fungal pathogens to synthetic fungicides have resulted in an increased demand for less dangerous methods. In this regard, the use of compounds of natural origin that have potential antifungal activity (such as herbal essential oils), can be an effective solution to control and prevent post-harvest diseases of vegetables and fruits. In this study, the potential antifungal activity of *Thymus daenensis* essential oil was evaluated against fungi species causing apple rot (i.e., *Penicillium expansum*, *Alternaria alternata*, and *Botrytis cinerea*). The chemical compounds, total phenol and flavonoids content, and antioxidant activity of the essential oil were also determined.

Materials and Methods: In this study, the essential oil of *T. daenensis* was extracted by the hydrodistillation method and its main chemical compounds were identified and quantified by gas chromatography coupled to mass spectrometry apparatus. Total phenols and flavonoids content of the essential oil were measured using the Folin-Ciocalteu and Aluminum chloride colorimetric methods, respectively. The *in-vitro* antioxidant activity of *T. daenensis* essential oil was evaluated based on the DPPH/ABTS free radical scavenging activity, beta-carotene bleaching, and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays. The antifungal effect of the essential oil against *Penicillium expansum*, *Alternaria alternata*, and *Botrytis cinerea* was investigated by the disk diffusion agar (DDA), well diffusion agar (WDA), minimum inhibitory concentration (MIC), and minimum fungicidal concentration (MFC).

Results and Discussion: The *T. daenensis* essential oil was rich in thymol (69.88%), γ -terpinen (8.49%), p-cymene (8.20%), and carvacrol (3.55%). In addition, the total phenol and flavonoids content of the essential oil were 91.45 mg GAE/g and 42.28 mg QE/g, respectively, which had an important role in its antioxidant activity. The *T. daenensis* essential oil had remarkable DPPH free radical scavenging activity (IC_{50} = 29.30 mg/ml), ABTS free radical scavenging activity (IC_{50} = 22.68 mg/ml), beta-carotene bleaching inhibitory effect (62.22%), and ferric reducing antioxidant power (30.10 μ M QE/g), revealing the electron/hydrogen donating ability of the essential oil. Antifungal results showed that *P. expansum* was the most sensitive fungi species to the essential oil and lower concentrations of the essential oil were required to inhibit the growth of or kill the species, due to the presence of phenolic compounds (such as thymol and carvacrol) in the oil. Indeed, reactive aromatic nucleus and phenolic OH groups in the structure of phenolic compounds can form hydrogen bonds with -SH groups at the active sites of target enzymes, leading to the deactivation of the fungal enzymes. In addition, the lipophilic nature of the essential oils makes them to be highly absorbed by the lipophilic mycelia and consequently suppress the growth of fungi species. Based on the results, the *T. daenensis* essential oil could be used as a natural antifungal agent and synthetic fungicide substitute to prevent the growth of pathogenic fungi on apple fruit or other food products and increase their shelf-life.

Keywords: *Thymus daenensis*, Essential oil, Natural antifungal, Antioxidant activity.

1. Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

(Corresponding Author Email: Rahmati@asnrukh.ac.ir)



مقاله پژوهشی

بررسی امکان تولید شیرینی مسقطی رژیمی حاوی قارچ گانودرما لوسیدیوم با جایگزینی شکر و نشاسته گندم با سوکرالوز - ایزومالت و نشاسته سیب زمینی توسط روش سطح پاسخ

مرتضی حیدریان^۱ - محمد گلی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶

چکیده

طی سال‌های اخیر تقاضا برای محصولات غذایی رژیمی و در عین حال با ارزش غذایی بالا افزایش چشمگیری داشته است. شیرینی مسقطی یکی از شیرینی‌های سنتی ایران است که به دلیل میزان ساکارز و کالری بالا، مصرف آن برای افراد مبتلا به چاقی و دیابت محدودیت دارد. در این تحقیق به بررسی اثر جایگزینی شکر با سوکرالوز - ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و غلظت قارچ گانودرما لوسیدیوم به عنوان یک ترکیب عملگر بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بافتی شیرینی مسقطی پرداخته شده است. به منظور بهینه‌یابی شرایط تولید مسقطی رژیمی غنی‌سازی شده از روش سطح پاسخ در دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد و طرح مرکب مرکزی در ۵ سطح جایگزینی شکر با سوکرالوز - ایزومالت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪)، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪) و قارچ گانودرما لوسیدیوم (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱٪) استفاده شد. نتایج حاصل از ویژگی‌های کیفی محصول منتخب (رطوبت، پروتئین، قند کل، ویتامین D، دانسیته، ویژگی‌های بافتی) و خصوصیات حسی آن در طول دوره نگهداری (۴۵ روز) ارزیابی و با نمونه شاهد در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه گردید. نتایج نشان داد، افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی موجب افزایش دانسیته و سفتی بافت گردید. افزایش دانسیته، سفتی و چسبندگی نیز در مقادیر بالاتر جایگزینی شکر با سوکرالوز - ایزومالت مشاهده شد. ارتجاعیت در مقادیر بالاتر جایگزینی شکر با سوکرالوز - ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و همچنین غلظت‌های بالاتر گانودرما لوسیدیوم کاهش یافت. شرایط بهینه تولید مسقطی رژیمی غنی شده، شامل ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز - ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۰/۴۶٪ گانودرما لوسیدیوم و ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز - ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۰/۵۳٪ گانودرما لوسیدیوم معرفی گردید. مقایسه بین نمونه‌های بهینه و شاهد نشان داد که میزان پروتئین و ویتامین D نمونه‌های رژیمی تولیدی بالاتر از نمونه شاهد بود، و محتوی قند کل آنها نسبت به نمونه شاهد کاهش محسوسی داشت ($P < 0.05$). همچنین، نمونه‌های بهینه از نظر ویژگی‌های حسی اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت ($P > 0.05$).

واژه‌های کلیدی: مسقطی رژیمی، جایگزینی، سوکرالوز - ایزومالت، نشاسته سیب زمینی، گانودرما لوسیدیوم، بهینه‌یابی.

مقدمه

در سال‌های اخیر، آگاهی عموم مردم از تأثیر تغذیه مناسب بر سلامتی افزایش یافته است، لذا توجه تولیدکنندگان صنعت غذا بر تولید محصولات غذایی با ارزش تغذیه‌ای بالا و ویژگی‌های سلامتی بخش معطوف شده است. از طرفی، امروزه رویکرد مبنی بر غنی‌سازی مواد غذایی می‌تواند یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین راهکارها جهت پیشگیری از بروز سوء تغذیه محسوب گردد (امامی و همکاران، ۱۳۹۸). دیابت یکی از شایع‌ترین اختلالات متابولیسمی

است که تقریباً نیمی از جمعیت جهان مبتلا به این بیماری هستند. افزایش شیوع بیماری‌های دیابت و چاقی در سراسر جهان از جمله ایران ناشی از تغییرات در شیوه زندگی، بی‌تحرکی، کاهش فعالیت‌های بدن و افزایش مصرف غذاهای پرچرب و غنی از قندها می‌باشد. نتایج منتشر شده توسط سازمان بهداشت جهانی حاکی از آن است که بیش از ۳۰ درصد ساکنین خاورمیانه دچار اضافه وزن می‌باشند و این مسئله در ایران، در بین کودکان و نوجوانان شایع‌تر است. از این‌رو، افرادی که دچار عدم تحمل گلوکز می‌باشند برای کنترل سطح قند خون و افراد سالم برای پیشگیری از بروز اختلالات متابولیکی مانند چاقی و پیامدهای آن به مصرف مواد غذایی کم کالری تشویق می‌شوند (Kroger et al., 2006). یکی از راهکارهای مورد تأیید جهت تولید محصولات غذایی سالم و مناسب برای گروه‌های خاص جامعه مانند بیماران دیابتی، مبتلایان به بیماری‌های قلبی - عروقی و یا افراد چاق، حذف ساکارز و جایگزین کردن آن با مخلوط شیرین کننده‌های

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی و مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

(*) نویسنده مسئول: Email: mgolifood@yahoo.com

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.79890

طبیعی یا سنتزی کم کالری می‌باشد. محصولات کم کربوهیدرات^۱ مناسب برای مصرف افراد مبتلا به دیابت، محصولات هستند که شاخص گلیسمی پایینی دارند به‌طوری‌که افزایش گلوکز خون بعد از مصرف غذای حاوی مقدار مشخصی کربوهیدرات (قابل استفاده) در مقایسه با افزایش گلوکز خون بعد از خوردن همان مقدار کربوهیدرات به‌صورت گلوکز در فرد کمتر می‌باشد (Aston et al., 2008). با توجه به مصرف بالای شیرینی در ایران و با ذکر این نکته که انواع شیرینی، حاوی مقدار زیادی ساکارز است، تعیین فرمولاسیون‌های رژیمی برای این دسته از محصولات غذایی امری ضروری به‌شمار می‌رود. مسقطی یکی از شیرینی‌های سنتی ایران محسوب می‌شود که به‌دلیل بافت و طعم منحصر به فردی که دارد، دارای میزان مصرف بالایی در ایران می‌باشد. مسقطی نوعی حلوا است که جزء سوغات برخی از شهرهای ایران مانند لار، بوشهر، سیرجان، بندرعباس و کازرون به‌شمار می‌آید. از ترکیبات اصلی مورد استفاده در تهیه‌ی شیرینی می‌توان به نشاسته، شکر، گلاب، هل، روغن و زعفران اشاره نمود. مقادیر بالای پروتئین در این شیرینی موجب تقویت عمومی، افزایش سطح انرژی و عضلانی شدن بدن می‌شود (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲).

ایجاد کیفیت مطلوب و مناسب در محصولات رژیمی، بدون استفاده از خواص عملکردی ساکارز امری دشوار است. در طی سال‌های اخیر، جایگزین شیرین‌کننده‌های سنتزی، غیرسمی با شیرینی بیشتر از ساکارز مانند آسولفام، آسپارتام و سوکرالوز که توسط سازمان بهداشت جهانی و غذا و کشاورزی به‌عنوان یک ترکیب ایمن^۲ شناخته شده‌اند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. سوکرالوز^۳، یک دی‌ساکارید جایگزین و یک شیرین‌کننده مصنوعی است که از طریق کله کردن انتخابی ساکارز در سه گروه هیدروکسیل اولیه آن تولید می‌شود و شامل وارونگی ترتیب کربن ۴، از گلوکز به گالاکتوز است. این شیرین‌کننده مصنوعی حدود ۶۵۰-۶۰۰ برابر شیرین‌تر از ساکارز است، که احتمالاً به‌دلیل خاصیت هیدروفوبی بیشتر آن نسبت به ساکارز می‌باشد (قندهاری یزدی و همکاران، ۱۳۹۷). از آنجا که شیرین‌کننده‌های مصنوعی به تنهایی قادر به تأمین تمامی ویژگی‌های کاربردی ساکارز نمی‌باشند، می‌توان از ترکیباتی مانند قندهای الکلی به‌عنوان عامل پرکننده^۴ و بافت‌دهنده در فرمولاسیون محصولات رژیمی استفاده نمود. ایزومالت^۵ یکی از قند الکلی‌های حاصل از تجزیه ساکارز است که در سیستم گوارشی تنها ۵۰٪ آن متابولیزه شده و انرژی معادل ۲ کیلوکالری بر گرم فراهم می‌کند (Grotz & Munro, 2009). Savitha و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوکرالوز و مالتودکسترین بر خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت بیسکویت حاصل از آن پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که می‌توان ۳۰٪ شکر در فرمولاسیون بیسکویت را توسط مخلوطی از سوکرالوز و مالتودکسترین جایگزین کرد بدون آنکه ویژگی‌های کیفی محصول نهایی تغییر کند. همچنین در تحقیق دیگری به بررسی اثر جایگزینی ساکارز با مخلوط شیرین‌کننده‌های سوکرالوز- مالتودکسترین بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی شیرینی سنتی قطاب پرداخته شده است. نتایج تحقیق بیانگر آن است که بهترین سطح جایگزینی ساکارز در سطح ۵۰٪ می‌باشد (قندهاری یزدی و همکاران، ۱۳۹۷). جلی و همکاران (۱۳۹۲)، نیز در پژوهش خود در رابطه با بررسی تأثیر جایگزینی ساکارز توسط مخلوط سوکرالوز و ایزومالت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیسکویت به این نتیجه دست یافتند که با کاهش میزان ساکارز و افزایش میزان مخلوط سوکرالوز و ایزومالت، رطوبت، چگالی و قابلیت پهن‌شدن^۶ نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش، و شاخص پراکسید و سفتی بافت نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین کیفیت فارینوگرافی خمیر بیسکویت با افزایش جایگزینی ساکارز روند کاهشی نشان می‌دهد.

قارچ‌ها همواره به لحاظ دارا بودن ترکیبات زیست فعال منحصر به‌فرد و خواص تغذیه‌ای و دارویی متعدد بسیار مورد توجه بوده‌اند. *گانودرما لوسیدیوم* (*Ganoderma lucidum*)، قارچی یکساله از تیره *Ganodermataceae* است که منبع غنی از مواد فعال بیولوژیک مانند انواع پروتئین‌ها، پپتیدها، پلی‌ساکاریدها، اسیدهای چرب، نوکلتوئیدها، استرول‌ها، تری‌ترپنوئیدها و ملانین می‌باشد. کاتیون‌های معدنی منیزیم، منگنز، کلسیم، روی، آهن و مس نیز در این قارچ به وفور یافت می‌شود. پلی‌ساکاریدها و تری‌ترپنوئیدهای این قارچ دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی، ضدباکتریایی، ضدویروسی، ضدآلرژی، تقویت‌کننده سیستم ایمنی بدن و محافظت‌کننده در برابر اشعه و ضدجوش می‌باشند. تحقیقات دانشمندان نشان داده است که پروتئین‌های متصل به پلی‌ساکاریدهایی که از این قارچ استخراج شده است، دارای فعالیت ضدتومور و ضددیابت هستند (Bishop et al., 2015). نتایج مطالعات Obodai و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیانگر ارزش تغذیه‌ای بالای *گانودرما لوسیدیوم* می‌باشد. این محققان گزارش نمودند که این قارچ حاوی ۲۴/۵-۱۵/۷٪ پروتئین، ۸۱/۹۰-۷۳/۳۱٪ کربوهیدرات، ۱/۴-۴/۸٪ چربی و ۲/۱۲-۶/۸٪ خاکستر بوده، و منبع غنی از بتاگلوکان، ویتامین‌ها (ویتامین D) و مواد معدنی به‌ویژه فسفر، پتاسیم و کلسیم است. همچنین اثرات مثبت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات زیست فعال موجود در *گانودرما لوسیدیوم* همانند ترکیبات فنولیک، توکوفرول‌ها و بتاکاروتن نیز تأکید شده است. تاکنون تحقیقات اندکی در رابطه با استفاده از *گانودرما لوسیدیوم*

1 Low-Carb Product

2 GRAS

3 Sucralose

4 Filler

5 Isomalt

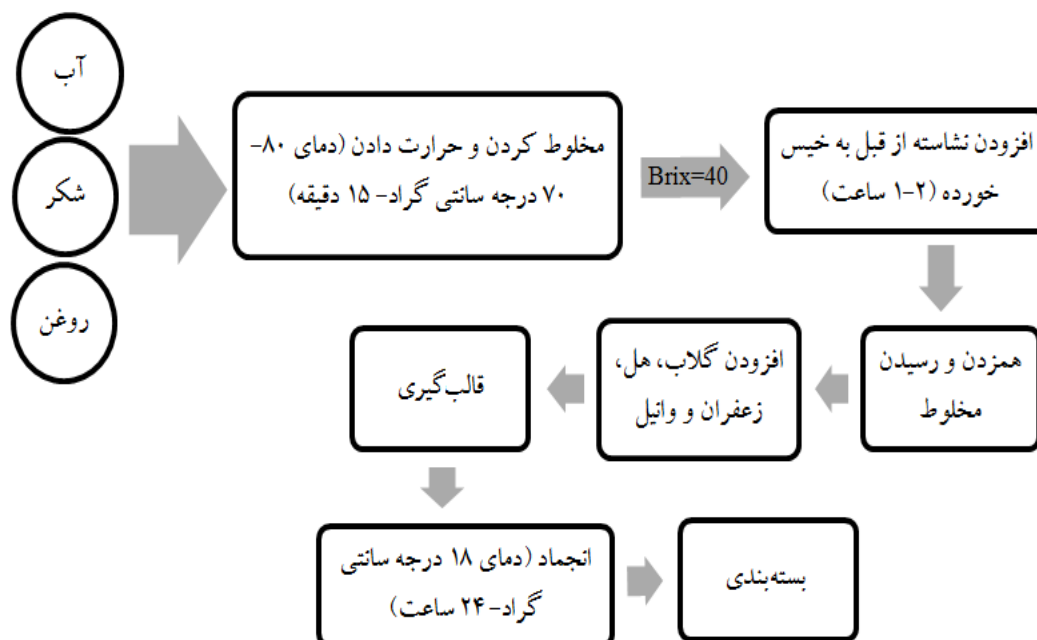
سطح پاسخ و نمونه تجاری، از نقطه نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق همچون نشاسته گندم و سیب‌زمینی (شهیدیه آران، اصفهان)، گانودرما لوسیدیوم (سلامت گستران آریان، اصفهان)، سوربیتول به‌عنوان جایگزین گلوکز مایع، سوکرالوز و ایزومالت (نوین سپهر، اصفهان)، و شکر، گلاب، هل، زعفران و روغن از فروشگاه‌های محلی اصفهان تهیه گردیدند. کلیه مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش، با خلوص بالا از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

تولید مسقطی

فرمولاسیون پایه مسقطی شامل آب (۲۸/۲۷٪)، نشاسته گندم (۱۱/۳۵٪)، سوربیتول (۱۷٪)، شکر (۲۸/۲۷٪)، روغن (۳/۴٪)، گلاب (۱۱/۳۵٪)، زعفران (۰/۰۳٪)، وانیل (۰/۰۳٪) و هل (۰/۰۳٪) در نظر گرفته شد. نمونه‌های شیرینی مسقطی مطابق با شکل ۱ تولید گردید (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱- فرآیند تولید مسقطی

(۱۰۰- صفر درصد) و گانودرما لوسیدیوم در سطوح (۱- صفر درصد به ازای وزن کل مخلوط نهایی) انتخاب شدند (جدول ۱)، و بقیه ترکیبات ثابت در نظر گرفته شد. برای به‌دست آوردن نقطه بهینه، ۲۰ آزمایش

در غنی‌سازی محصولات غذایی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، Jairo Lindarte و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر گانودرما لوسیدیوم را به‌عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون کیک کم کالری پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی، حجم مخصوص کاهش و سفتی بافت افزایش یافت. محتوی رطوبت، فعالیت آبی، پروتئین و خاکستر کیک‌های کم کالری نسبت به نمونه شاهد تغییر محسوسی نداشته، در حالیکه میزان فیبر و چربی محصول نهایی به‌ترتیب، افزایش و کاهش پیدا کرده است.

با توجه به اینکه تاکنون در ایران تحقیق جامعی پیرامون کاربرد قارچ گانودرما لوسیدیوم و قند کم کالری سوکرالوز و قند الکل ایزومالت در فرمولاسیون مسقطی انجام نگرفته است، بنابراین هدف از این پژوهش بررسی امکان غنی‌سازی این محصول با گانودرما لوسیدیوم و جایگزین کردن قند ساکارز با استفاده از مخلوط قندهای سوکرالوز- ایزومالت و همچنین جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و تأثیر این جایگزینی بر خواص فیزیکوشیمیایی و بافتی مسقطی با هدف ارتقاء ارزش تغذیه‌ای و حفظ ویژگی‌های کیفی این محصول می‌باشد. در نهایت، نمونه بهینه معرفی شده توسط روش

تولید مسقطی رژیمی

برای تهیه مسقطی رژیمی غنی‌شده، متغیرهای مستقل شامل جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت در سطوح (۱۰۰- صفر درصد)، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی در سطوح

توسط نرم افزار Design Expert پیشنهاد گردید (جدول ۲)، که در این جدول فاکتورها و سطوح اندازه گیری آنها نیز آورده شده است. جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و سطوح اندازه گیری آنها

متغیرهای مستقل	فاکتور	کد و سطوح مربوطه				
		$-\alpha$	-۱	۰	+۱	$+\alpha$
جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت* (%)	A	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی (%)	B	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
گانودرما لوسیدیوم (%)	C	۰	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۷۵	۱

*: با توجه به شیرینی ۶۰۰ برابری سوکرالوز نسبت به شکر و تفاوت وزن سوکرالوز مصرفی و شکر حذف شده، در تمامی تیمارها از ایزومالت به عنوان پرکننده برای تأمین خصوصیات کاربردی مانند ایجاد قوام، شیشه ای بودن و سایر خصوصیات ساختاری مسقطی استفاده شد.

جدول ۲- آزمایشات ارائه شده توسط نرم افزار با استفاده از طرح RSM

Run	جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت* (%)	جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی (%)	گانودرما لوسیدیوم (%)	Run	جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت* (%)	جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی (%)	گانودرما لوسیدیوم (%)
۱۳	۵۰	۵۰	۰	۱۷	۵۰	۵۰	۰/۵
۱	۲۵	۲۵	۰/۲۵	۹	۲۵	۵۰	۰/۵
۴	۷۵	۷۵	۰/۲۵	۱۰	۷۵	۱۰۰	۰/۵
۲	۷۵	۲۵	۰/۲۵	۱۸	۷۵	۵۰	۰/۵
۳	۲۵	۷۵	۰/۲۵	۱۶	۲۵	۵۰	۰/۵
۲۰	۵۰	۵۰	۰/۵	۵	۲۵	۲۵	۰/۷۵
۱۱	۵۰	۵۰	۰/۵	۷	۲۵	۷۵	۰/۷۵
۱۹	۵۰	۵۰	۰/۵	۶	۷۵	۲۵	۰/۷۵
۱۵	۵۰	۵۰	۰/۵	۸	۷۵	۷۵	۰/۷۵
۱۲	۵۰	۱۰۰	۰/۵	۱۴	۵۰	۵۰	۱

*: با توجه به شیرینی ۶۰۰ برابری سوکرالوز نسبت به شکر و تفاوت وزن سوکرالوز مصرفی و شکر حذف شده، در تمامی تیمارها از ایزومالت به عنوان پرکننده برای تأمین خصوصیات کاربردی مانند ایجاد قوام، شیشه ای بودن و سایر خصوصیات ساختاری مسقطی استفاده شد.

ارزیابی ویژگی های شیمیایی محصول

اندازه گیری رطوبت مطابق روش استاندارد AOAC (۲۰۰۰)، محتوی پروتئین (پس از ۱۵ روز نگهداری) با روش مصوب AACC به شماره ۱۲-۴۶ و با روش کلدال و ضریب تبدیل ۶/۲۵ و قند کل (پس از ۳۰ روز نگهداری) با روش مصوب AACC به شماره ۵۰-۸۰ صورت پذیرفت. میزان ویتامین D مطابق با استاندارد ملی ایران به شمار ۱۳۵۷۹، توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مدل Cp 3800 ساخت کمپانی Varian اندازه گیری گردید. مقدار تزریق نمونه ۲۰ میکرولیتر و آشکارساز فلورسنس JASCO مدل FP-1520 مورد استفاده قرار گرفت. فاز متحرک ترکیبی از هگزان: ایزوپروپانول (۷/۷:۹۹/۳ v/v) بود. سرعت جریان فاز متحرک ۱ میلی متر در دقیقه بود. ستون LICHROSORB SI60-5 با ابعاد

۲۵۰×۳ میلی متر و اندازه ذرات ۵ میکرولیتر، پمپ 1000 KNAUER و دمای ستون برابر با دمای اتاق بود.

ارزیابی ویژگی های فیزیکی محصول

دانشیه نمونه های مسقطی پس از تعیین حجم با استفاده از روش جابه جایی دانه کلزا محاسبه شد (Le-Bail et al., 2010). همچنین، برای ارزیابی ویژگی های بافتی نمونه ها، از دستگاه بافت سنج (Hounsfield H512S، آلمان) استفاده گردید. بدین منظور، قطعه مکعب مربع با اندازه ۲×۲ سانتی متر از گز تهیه گردید و از پروب با قطر ۲/۵ سانتی متر، سرعت نفوذ ۶۰ میلی متر در دقیقه و عمق نفوذ ۲۰ میلی متر استفاده شد. نیروی لازم جهت نفوذ پروب به درون نمونه به عنوان شاخص سفتی بافت بر حسب نیوتن گزارش گردید. پیوستگی و ارتجاعیت (فتریت) نیز از روی نمودار فاصله- نیرو به دست آمد. صمغیت از حاصل ضرب سختی و پیوستگی، و قابلیت جویدن نیز از

نتایج و بحث

تغییرات دانسیته

مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات دانسیته در اثر تغییر کمیت متغیرهای مورد بررسی (درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و درصد قارچ گانودرما لوسیدیوم)، مدل خطی درجه دو با ضریب تبیین ($R^2=0.70$) و عدم برازش غیر معنی دار می باشد. ضریب تبیین نشان دهنده میزان انحراف داده ها از مدل رگرسیون خطی است، و از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی دار نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد. با توجه به نزدیک بودن ضریب تبیین به عدد ۱ می توان نتیجه گرفت که نتایج به دست آمده با مدل پیشنهادی نرم افزار در محدوده عددی ذکر شده به طور مناسبی سازگاری دارد (جدول ۳). اثر خطی درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و اثر درجه دوم درصد جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت بر تغییرات دانسیته معنی دار بود ($P<0.01$)، جدول (۳).

بر طبق معادله (۱)، افزایش دانسیته در مقادیر بالاتر درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مشاهده گردید. افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی در فرمولاسیون مسقطی رژیمی، نیز باعث افزایش دانسیته شد. مثبت بودن ضریب رگرسیونی خطی درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و همچنین درجه دوم درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مؤید این مطلب می باشد. اثر متقابل متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش بر تغییرات دانسیته مسقطی رژیمی غنی شده معنی دار نبودند، بدین معنا که به ازای تغییر سطوح یک فاکتور رفتار مشابهی در مقابل با تغییر سطوح فاکتور دیگر مشاهده شد (جدول ۳).

$$(2) \quad \text{دانسیته (g/cm}^3\text{)} = 1/12 + 0/13B + 0/14A^2$$

نتایج این پژوهش بیانگر اثر معنی دار شکر جایگزین شده با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم جایگزین شده با نشاسته سیب زمینی بر دانسیته مسقطی رژیمی می باشد. افزایش دانسیته نمونه های مسقطی در اثر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی را می توان به تغییر ویسکوزیته سیستم و کاهش توانایی خمیر در حفظ و نگهداری حباب های هوا طی مراحل مخلوط کردن و پخت نسبت داد (Sanz-Penella et al., 2010). کاهش حجم و افزایش دانسیته محصول در اثر حذف شکر و استفاده از سطوح بالاتر جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت نیز ممکن است به علت کاهش پایداری ژل نشاسته طی فرایند حرارت دهی باشد که ارتباط مستقیم با کاهش ویسکوزیته مخلوط و اندازه حباب های هوا دارد، و یا احتمالاً به دلیل کاهش سرعت انتقال حرارت ناشی از

حاصل ضرب سختی و پیوستگی و ارتجاعیت محاسبه شد (Gomez et al., 2006).

ارزیابی حسی

ارزیابی ویژگی های حسی نمونه ها پس از ۳۰ روز نگهداری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و با آزمون هدونیک ۵ نقطه ای توسط ۱۵ داور آموزش داده شده، مورد ارزیابی قرار گرفت. از ارزیاب ها خواسته شد تا صفات مورد بررسی شامل طعم و مزه، شیرینی، پس طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی را از عدد ۱ تا ۵ رتبه بندی نمایند. برای بهترین کیفیت عدد ۵ و برای نازل ترین کیفیت عدد ۱ در نظر گرفته شد (Saricoban & Yilmaz, 2010).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

در این تحقیق، به منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل شامل درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت (A)، درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی (B) و درصد گانودرما لوسیدیوم (C) بر تغییرات ویژگی های فیزیکی و بافتی (دانسیته، سختی، چسبندگی، ارتجاعیت) نمونه های مسقطی رژیمی، از نرم افزار دیزاین اکسپرت ورژن ۹ و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با α برابر ۱/۵ و ۶ نقطه مرکزی استفاده شد. کلیه بررسی های آماری در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد انجام شد.

در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف شد که آثار اصلی و متقابل متغیرها را بر روی هر فاکتور بیان می کند، مدل چند متغیره به صورت زیر می باشد. در رابطه (۱)، پاسخ پیش بینی شده Y، ضریب ثابت، β_0 ، اثرات خطی $\beta_a, \beta_b, \beta_c$ ، اثرات مربعی $\beta_{aa}, \beta_{bb}, \beta_{cc}$ و اثرات متقابل $\beta_{ab}, \beta_{ac}, \beta_{bc}$ می باشند.

$$(1) \quad Y = \beta_0 + \beta_a A + \beta_b B + \beta_c C + \beta_{aa} A^2 + \beta_{bb} B^2 + \beta_{cc} C^2 + \beta_{ab} AB + \beta_{ac} AC + \beta_{bc} BC$$

پس از تجزیه و تحلیل داده ها توسط نرم افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد (S.D.) و مجموع مربعات باقی مانده برآورد شده (PRESS) کم و ضریب همبستگی (R^2) بالا باشد. آنالیز نتایج بدست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی^۲ (CRD) و با استفاده از نرم افزار SPSS ver: ۹/۱ صورت گرفت. به منظور مقایسه میانگین ها و بررسی معنی دار بودن اختلاف بین آنها، از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

1 Confidence level

2 Completely randomized design

کاهش دمای غیرطبیعی شدن پروتئین‌ها باشد (Akesowan, 2009).
نورمحمدی و همکاران (۱۳۹۱)، گزارش نمودند، کاهش حجم در اثر حضور قندهای الکلی ممکن است به دلیل کاهش مقاومت خمیر طی فرایند حرارتی باشد که با کاهش ویسکوزیته خمیر با افزایش جایگزینی شکر و یا تغییر در مکانیسم‌های تنظیم حرارتی در اثر

حضور ایزومالت مرتبط می‌باشد. در تحقیقی دیگر نیز نتایج نشان داد که جایگزینی ساکارز توسط مخلوط سوکرالوز- ایزومالت فرمولاسیون سبب کاهش حجم مخصوص و افزایش دانسیته محصول می‌گردد (جلی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و قارچ گانودرما / لوسیدیوم بر متغیرهای پاسخ (دانسیته، سفتی بافت، چسبندگی، ارتجاعیت)

منبع تغییرات	دانسیته (g/cm ³)		سفتی بافت (N)		چسبندگی (N.min)		ارتجاعیت	
	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات
مدل	۲	۰/۲۰**	۳	۴/۷۵**	۶	۱۶/۳۰**	۶	۰/۲۶**
A	-	-	-	-	۱	۰/۰۵۶ ^{ns}	۱	۰/۰۳۱ ^{ns}
B	۱	۰/۱۳**	۱	۲/۲۰**	۱	۰/۵۳ ^{ns}	۱	۳/۲۶×۱۰ ^{-۴} ^{ns}
C	-	-	-	-	۱	۱۳/۲۹**	۱	۱/۶۱×۱۰ ^{-۳} ^{ns}
AB	-	-	۱	۲/۸۹**	۱	۱/۹۳**	-	-
AC	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	-	-	-	-	-	-	-	-
ABC	-	-	-	-	-	-	-	-
A ²	۱	۰/۰۷۱*	-	۰/۶۰*	۱	۱/۰۱*	۱	۰/۱۲**
B ²	-	-	-	-	-	-	۱	۰/۰۳۹۶*
C ²	-	-	۱	-	۱	۲/۱۲*	۱	۰/۱۴**
باقی مانده	۱۱	۰/۰۸۲	۸	۰/۶۰	۱۱	۱/۷۶	۱۲	۰/۱۰
عدم برازش	۶	۰/۰۵ ^{ns}	۴	۰/۱۷ ^{ns}	۶	۰/۴۶ ^{ns}	۷	۰/۰۴۱ ^{ns}
R ²	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۷۱	۰/۷۱
خطای کل	۵	۰/۰۳۲	۴	۰/۴۳	۵	۱/۳۰	۵	۰/۰۶۱
کل	۱۳	۰/۲۸	۱۱	۵/۳۵	۱۷	۱۸/۰۷	۱۸	۰/۳۶

A: درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، B: درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، C: درصد گانودرما لوسیدیوم
خطوط تیره در جدول نشان دهنده بی تأثیر بودن متغیر مربوطه در پاسخ‌های اندازه‌گیری شده است، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

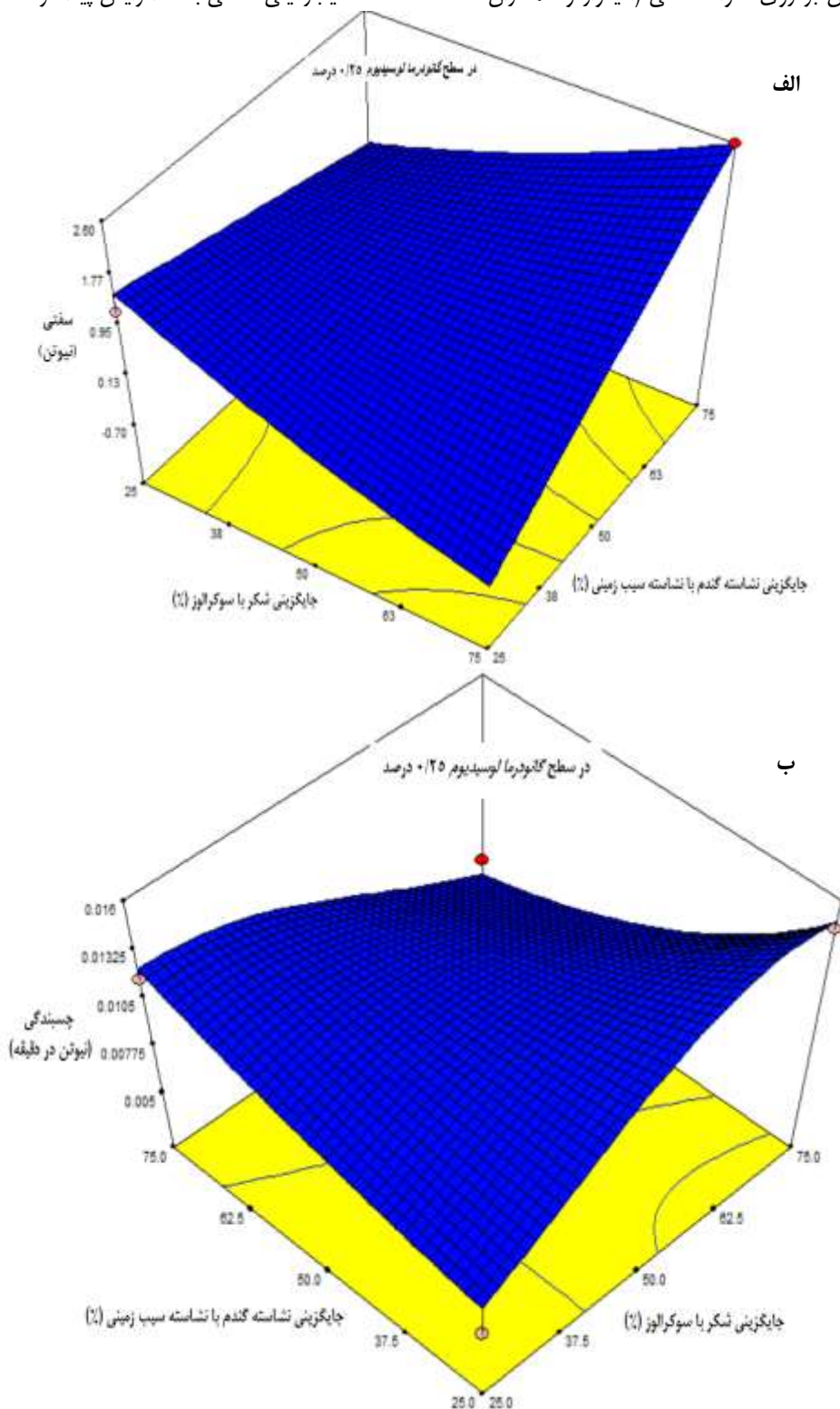
تغییرات ویژگی‌های بافتی

ایزومالت و اثر متقابل درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی بر تغییرات سفتی و چسبندگی، اثر خطی و درجه دوم درصد گانودرما لوسیدیوم بر تغییرات چسبندگی و همچنین اثرات درجه دوم کلیه متغیرهای مستقل بر تغییرات ارتجاعیت معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۱$ و $P < ۰/۰۵$). همانطور که معادله (۳ و ۴) نشان می‌دهد، سفتی و چسبندگی بافت در مقادیر بالاتر درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت افزایش یافت. مطالعات پیشین نیز حاکی از افزایش سفتی بافت در اثر جایگزینی ساکارز با قندهای الکلی و اسپارتام، اریتریتول و الیگوفروکتوز بر روی

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳، مدل خطی درجه دو به‌دست آمده از تغییرات ویژگی‌های بافتی معنی‌دار ($P < ۰/۰۱$)، ضریب تبیین آن برابر با ۰/۸۸ و عدم برازش آن غیرمعنی‌دار بود. بنابر نتایج به‌دست آمده و نزدیک بودن ضریب تبیین به عدد ۱ می‌توان بیان نمود که نتایج به‌دست آمده با مدل پیشنهادی نرم افزار در محدوده عددی ذکر شده به‌طور مناسبی سازگاری دارد. براساس نتایج جدول ۳، اثر خطی درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی بر تغییرات سفتی بافت، اثر درجه دوم درصد جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز-

۱۳۹۲) می‌باشد. همچنین با افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، سفتی بافت افزایش پیدا کرد.

کیک اسفنجی (پیغمبر دوست و همکاران، ۱۳۸۹)، و مخلوط استویوزید- مالتودکسترین بر روی حلوا مسقطی (امیدوار و همکاران،



شکل ۲- اثر متقابل جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی بر تغییرات بافت مسقطی رژیمی

$$(۴) \quad ۰/۱۸B - ۱/۲۳C + ۰/۴۹ AB + ۰/۲۹ A^2 - ۰/۴۲ C^2 \\ + ۳/۰۳ = \text{چسبندگی (N.min)} + ۰/۰۸A \\ (۵) \quad -۰/۳B - ۰/۰۱C - ۰/۰۷A^2 - ۰/۰۴B^2 - ۰/۰۷۵C^2 \\ ۴/۷۰E - ۰/۰۴۶A - ۰/۰۸۴ = \text{ارتجاعیت}$$

شکل ۲، اثر متقابل درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی بر تغییرات بافت را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار سه بعدی (شکل ۲- الف و ب) مشاهده می‌شود که در سطح ۰/۵۰ درصد گانودرما/لوسیدیوم، در سطوح بالاتر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی موجب افزایش سفتی و چسبندگی بافت شد، و در سطوح پایین‌تر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، سفتی و چسبندگی با افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی کاهش یافت. باید اشاره داشت که در سطوح بالاتر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی، کاهش میزان سفتی با کاهش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مشاهده شد، و در سطوح پایین‌تر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی، با کاهش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت سفتی بافت روند افزایشی داشت. اثر متقابل جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی در مقادیر بالاتر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی و سطوح پایین‌تر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت منجر به کاهش سفتی بافت و نرم‌تر شدن نمونه‌های مسقطی رژیمی شد. به عبارت دیگر، کمترین میزان سفتی بافت در سطح ۷۵٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی و مقدار ۲۵٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مشاهده شد (شکل ۲- الف). در نمودار سه بعدی (شکل ۲- ب)، در سطوح بالاتر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی، با افزایش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت از میزان چسبندگی کاسته شد، و در سطوح پایین‌تر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی، با افزایش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت چسبندگی افزایش یافت.

از آنجایی که نشاسته سیبزمینی دارای قدرت تورم بالاتر و مقادیر بالاتری فسفات (۰/۰۶-۰/۱٪) نسبت به نشاسته گندم می‌باشد، این فسفات‌ها به دلیل بار منفی با آمیلوپکتین‌ها اتصال برقرار می‌کند و موجب باز شدن ساختار مارپیچی آنها می‌گردد و این امر به نوبه خود موجب افزایش ویسکوزیته مخلوط نشاسته و در نتیجه سخت‌تر شدن بافت مسقطی می‌شود (Majzoobi et al., 2011; Schirmer et al., 2012). به علاوه نشاسته سیبزمینی به علت داشتن خاصیت جذب آب بالاتر در مقایسه با نشاسته گندم، از طریق جذب رطوبت منجر به افزایش ویسکوزیته مخلوط و سفتی بافت نمونه‌های مسقطی می‌گردد (Vittadini & Vodovotz, 2003). کاهش میزان چسبندگی با افزایش درصد گانودرما/لوسیدیوم به ویژه در مقادیر بالاتر نیز مشاهده شد. به نظر می‌رسد که تغییر در چسبندگی تیمارها در اثر افزودن گانودرما، بدلیل افزایش ویسکوزیته و گرانروی و استحکام مخلوط باشد، که علت آن با وجود مقادیر بالای فیبرهای رژیمی مانند بتاگلوکان در گانودرما/لوسیدیوم و خاصیت جذب آب بالا و همچنین جذب رطوبت حاصل از فرایند رتروگرادسیون زنجیره‌های نشاسته مرتبط است (مرتضوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). بر طبق معادله ۵، ارتجاعیت در مقادیر بالاتر درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی و درصد گانودرما/لوسیدیوم کاهش یافت. تغییرات مشاهده شده در میزان خاصیت ارتجاعیت نمونه‌های مسقطی رژیمی، احتمالاً بدلیل تغییر ویسکوزیته سیستم و واکنش‌های شیمیایی متعدد میان گانودرما و سایر اجزاء موجود در فرمولاسیون مسقطی می‌باشد. در واقع، این امکان وجود دارد که تداخل مولکول‌های چربی و پروتئین موجود در گانودرما/لوسیدیوم با سایر ترکیبات فرمولاسیون سبب ایجاد اتصالات متقاطع در سیستم و ایجاد شبکه‌ای با ویژگی‌های بافتی متفاوت می‌گردد (Jairo Lindarte et al., 2019).

$$(۳) \quad ۰/۱۶A^2 + ۰/۵۵B + ۱/۰۵AB + ۰/۸۴ = \text{سفتی بافت (N)}$$

جدول ۴- مقادیر مورد استفاده برای بهینه‌سازی و ویژگی و یا هدف آن

متغیر مستقل و پاسخ	حد پایین	حد بالا	هدف
جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت (%)	۰	۱۰۰	در محدوده
جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیبزمینی (%)	۰	۱۰۰	در محدوده
گانودرما/لوسیدیوم (%)	۰	۱	در محدوده
دانسیته (g/cm ³)	۱/۰۰	۱/۴۵	در محدوده
سفتی بافت (N)	۰/۴۷	۲/۶۲	مینیمم
چسبندگی (N/min)	۰/۴۲	۰/۶۰	ماکسیمم
ارتجاعیت	۰/۴۸	۰/۹۳	مینیمم

بهینه‌سازی فرمول و اعتبارسنجی

بهینه‌سازی براساس مهم‌ترین پارامترهای کیفی مسقطی (دانسیت، سفتی بافت، چسبندگی و ارتجاعیت) صورت گرفت. به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های حاصل، نمونه‌های بهینه حاوی ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۴۶٪ گانودرما لوسیدیوم و ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۵۳٪ گانودرما لوسیدیوم تولید گردید. در جدول ۴ دامنه مقادیر به‌دست آمده برای فرایند بهینه‌سازی و هدف آن مشخص شده است.

مقایسه نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می‌گردد، میزان رطوبت و دانسیته نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری را در طول دوره نگهداری نشان داد ($P < 0.05$). تفاوت در محتوی رطوبت نمونه‌ها می‌تواند به علت وابستگی فعالیت آبی محصول به مقدار هر یک از ترکیبات افزوده شده به فرمولاسیون و وزن مولکولی آنها باشد (امامی و همکاران، ۱۳۹۸). ویسکوزیته مخلوط در طول فرایند حرارت‌دهی یکی از عوامل مؤثر بر حجم و دانسیته محصول نهایی است. به علاوه قدرت مخلوط در حفظ و نگهداری حباب‌های هوا در

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری

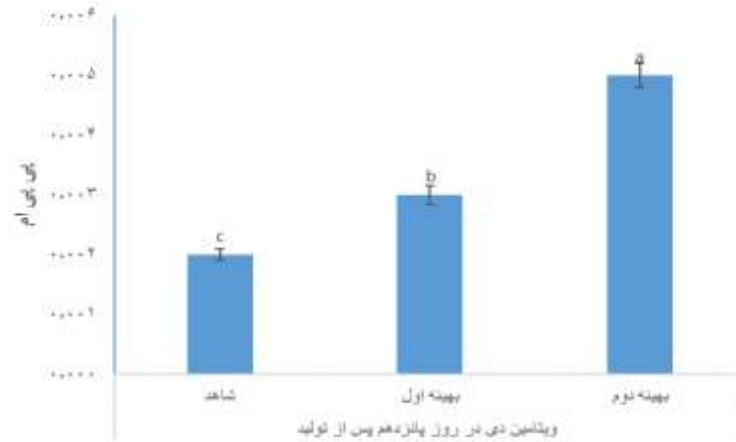
نمونه	روز	رطوبت (%)	دانسیته (g/cm ³)	قند کل (%)	پروتئین (%)
بهینه ۱	۰	۶/۰۳±۰/۱۸ ^f	۱/۱۲±۰/۰۲۵ ^d	—	—
	۱۵	۶/۱۲±۰/۱۸ ^f	۱/۲۰±۰/۰۲۵ ^b	—	۳/۰۸±۰/۰۲ ^a
	۳۰	۵/۷۵±۰/۱۲ ^g	۱/۱۴±۰/۰۴ ^{cd}	۲۹/۱۴±۲/۰۰ ^b	—
	۴۵	۵/۶۵±۰/۱۱ ^g	۱/۲۱±۰/۰۲۱ ^b	—	—
بهینه ۲	۰	۶/۵۱±۰/۰۴ ^d	۱/۱۹±۰/۰۲۵ ^{bc}	—	—
	۱۵	۶/۳۹±۰/۰۶ ^{de}	۱/۱۱±۰/۰۵ ^d	—	۳/۵۵±۰/۰۲ ^a
	۳۰	۶/۲۴±۰/۰۵ ^{ef}	۱/۲۱±۰/۰۲۵ ^b	۲۶/۱۵±۱/۵۰ ^b	—
	۴۵	۶/۰۶±۰/۰۴ ^f	۱/۳۵±۰/۰۳۱ ^a	—	—
شاهد	۰	۸/۳۴±۰/۱۲ ^a	۱/۳۶±۰/۰۲۵ ^a	—	—
	۱۵	۸/۰۹±۰/۲۱ ^b	۱/۲۲±۰/۰۳۶ ^b	—	۱/۵۱±۰/۰۱ ^b
	۳۰	۸/۰۷±۰/۱۸ ^b	۱/۲۳±۰/۰۲۵ ^b	۵۸/۶۲±۱/۳۰ ^a	—
	۴۵	۷/۶۳±۰/۱۳ ^c	۱/۳۱±۰/۰۲۱ ^a	—	—

حروف کوچک متفاوت در هرستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($P < 0.05$).

در گانودرما لوسیدیوم نسبت داد (کی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). همانطور که انتظار می‌رفت، میزان قند کل نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا کرد، که علت آن حذف بخشی از ساکارز و

بررسی ویژگی‌های کیفی نمونه بهینه و نمونه شاهد نشان می‌دهد که درصد پروتئین نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت ($P < 0.05$)، که علت را می‌توان به حضور مقادیر بالای پروتئین

نتایج حاصل در شکل ۳ نشان می‌دهد که محتوی ویتامین D نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت ($P < 0.05$)، که علت آن را می‌توان به وجود مقادیر بالای ویتامین D در گانودرما *لوسیدیوم* نسبت داد (Gao et al., 2003). همانطور که ملاحظه می‌گردد، افزایش درصد گانودرما *لوسیدیوم* نیز اثر معنی‌داری ($P < 0.05$)، بر مقدار ویتامین D نمونه‌های بهینه داشت، به‌طوری‌که نمونه بهینه ۲ (شامل ۵۳٪ گانودرما *لوسیدیوم*)، میزان ویتامین D بالاتری را نسبت به نمونه بهینه ۱ نشان داد.



شکل ۳- مقایسه میزان ویتامین دی (بی‌پی‌ام) روز پانزدهم پس از تولید در نمونه‌های بهینه و شاهد

(بهینه ۱: ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، ۴۶٪ گانودرما *لوسیدیوم*; بهینه ۲: ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، ۵۳٪ گانودرما *لوسیدیوم*)

است. رتروگرادیسیون آمیلوز، واکنش بین نشاسته و گلوکز و همچنین پدیده مهاجرت رطوبت از جمله عوامل مؤثر در سفتی محصولات غلات طی انبارداری هستند. بیشترین جابه‌جایی آب از گلوتن به نشاسته صورت می‌گیرد، در نتیجه با افزایش آب در دسترس نشاسته در رقابت با گلوتن کریستالیزاسیون آن نیز بیشتر می‌گردد. تمایل بالای نشاسته سیب‌زمینی به جذب آب و توانایی آن در حفظ آب بدلیل حضور مقادیر بالای فیبر و فسفات و همچنین وجود مقادیر کمتر آمیلوز در نشاسته سیب‌زمینی نسبت به نشاسته گندم سبب کاهش آب در دسترس نشاسته و به دنبال آن کاهش کریستالیزاسیون مجدد نشاسته می‌گردد (Tomasik, 2009). از این رو، در تحقیق حاضر کاهش میزان سفتی بافت تیمار حاوی ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و ۵۳٪ گانودرما *لوسیدیوم*، با افزایش زمان نگهداری مشاهده شد. در بسیاری از مطالعات قبلی نیز گزارش شده است که سرعت رتروگرادیسیون (بیاتی) نشاسته سیب‌زمینی بر اساس وزن رسوب نشاسته طی ۳۰ روز نگهداری در مقایسه با نشاسته گندم بسیار کمتر است (Shevkani et al., 2016).

جایگزینی آن با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت در فرمول مسقطی می‌باشد. Manisha و همکاران (۲۰۱۲) و همچنین Lin و همکاران (۲۰۱۰)، نیز کاهش به‌سزایی را در میزان قند کل، با جایگزینی شکر و حذف بخشی از آن از فرمول کیک اسفنجی مشاهده کردند. با افزایش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و درصد گانودرما *لوسیدیوم*، تغییر معنی‌داری در میزان پروتئین و قند کل نمونه‌های بهینه مشاهده نشد ($P > 0.05$).

ویژگی‌های بافتی

در طی دوره نگهداری نمونه‌ی بهینه ۱ و نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری از حیث تغییرات سفتی بافت نداشتند ($P < 0.05$)، درحالی‌که میزان سفتی نمونه بهینه ۲ به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$)، بالاتر بود. سفتی بافت وابستگی زیادی با میزان رطوبت و تحرک آب، به ماده خشک، نوع و مقدار پروتئین و چربی محصول دارد. از آنجایی که گانودرما *لوسیدیوم* حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای پروتئین و فیبرهای رژیمی است، این احتمال وجود دارد که می‌تواند تأثیر زیادی بر ویسکوزیته مخلوط و در نهایت قدرت شبکه ژلی تشکیل شده بگذارد (Jairo Lindarte et al., 2019). از طرفی، نوع و مقدار شیرین‌کننده جایگزین شده با شکر در فرمولاسیون محصول، به‌واسطه تأثیری که بر ویسکوزیته مخلوط دارد، می‌تواند موجب تغییر سختی و پیوستگی بافت آن گردد. به‌طور کلی، می‌توان تغییرات مشاهده شده در میزان سفتی بافت نمونه‌های مسقطی رژیمی را با مکانیسم‌هایی که باعث تغییر ویسکوزیته سیستم شده‌اند، مرتبط دانست (Ronda et al., 2005). بیاتی محصول اغلب با افزایش سفتی بافت آن همراه است و افزایش سفتی طی دوره نگهداری تحت تأثیر رتروگرادیسیون آمیلوز

جدول ۶- مقایسه ویژگی‌های بافتی نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	سفتی	چسبندگی	پیوستگی	ارتجاعیت	صمغیت	قابلیت جویدن
بهینه ۱	۰	۵۰/۴۰±۶/۵۹ ^{cd}	۰/۴۹±۰/۱۴ ^a	۰/۳۸±۰/۰۵ ^{bc}	۰/۷۲±۰/۱۱ ^{ab}	۱۸/۶۷±۸/۳۶ ^{bc}	۱۲/۷۸±۴/۶۰ ^a
	۱۵	۲۶/۹۳±۳۱/۸۲ ^{cde}	۰/۲۲±۰/۱۶ ^{ab}	۰/۴۲±۰/۱۰ ^{abc}	۰/۷۴±۰/۱۹ ^a	۱۰/۰۳±۴/۴۵ ^{cd}	۶/۹۰±۱/۱۸ ^{bc}
	۳۰	۳۰/۲۳±۸/۷۲ ^{cde}	۰/۲۶±۰/۰۷ ^b	۰/۴۰±۰/۰۸ ^{abc}	۰/۷۸±۰/۱۰ ^a	۱۱/۳۵±۲/۶۴ ^{cd}	۸/۷۰±۱/۵۴ ^{ab}
	۴۵	۲۱/۶۷±۳۶/۰۵ ^{de}	۰/۱۸±۰/۱۱ ^{bcd}	۰/۳۹±۰/۰۳ ^{abc}	۰/۷۹±۰/۰۷ ^a	۸/۳۷±۳/۱۰ ^d	۶/۶۶±۲/۷۲ ^{bc}
بهینه ۲	۰	۱۵۷/۴۰±۲۴/۷۲ ^a	۰/۱۸±۰/۱۳ ^b	۰/۲۶±۰/۰۴ ^d	۰/۲۷±۰/۰۶ ^{de}	۴۱/۲۲±۶/۹۸ ^a	۱۱/۴۴±۴/۲۷ ^a
	۱۵	۵۸/۹۷±۱۶/۷۲ ^c	۰/۲۱±۰/۰۵ ^b	۰/۳۸±۰/۰۴ ^{bcd}	۰/۴۶±۰/۱۹ ^{de}	۲۱/۳۳±۷/۳۵ ^b	۹/۲۱±۲/۳۴ ^{ab}
	۳۰	۱۰۵/۵۰±۱۳/۰۱ ^b	۰/۱۳±۰/۰۴ ^b	۰/۳۲±۰/۰۳ ^{cd}	۰/۳۵±۰/۰۵ ^{cde}	۳۳/۱۱±۶/۴۴ ^a	۱۱/۲۸±۰/۳۰ ^a
	۴۵	۵۳/۲۷±۱۲/۳۴ ^{cd}	۰/۰۷±۰/۰۲ ^b	۰/۳۴±۰/۰۱ ^{cd}	۰/۳۴±۰/۰۳ ^e	۱۷/۹۶±۵/۶۶ ^{bc}	۵/۹۴±۱/۴۵ ^{bc}
شاهد	۰	۱۶/۷۳±۲/۲۹ ^e	۰/۰۳±۰/۰۲ ^d	۰/۵۱±۰/۰۶ ^a	۰/۶۱±۰/۰۵ ^{abc}	۸/۲۵±۳/۰۷ ^d	۴/۹۶±۱/۶۵ ^{bc}
	۱۵	۱۱/۶۷±۵/۵۹ ^e	۰/۰۹±۰/۰۶ ^{bcd}	۰/۴۷±۰/۰۶ ^{ab}	۰/۶۹±۰/۱۱ ^{ab}	۵/۴۰±۰/۱۰ ^d	۳/۷۳±۰/۴۸ ^c
	۳۰	۱۶/۸۷±۹/۲۳ ^e	۰/۱۳±۰/۰۴ ^{bcd}	۰/۳۷±۰/۰۴ ^{bcd}	۰/۵۳±۰/۰۶ ^{bcd}	۶/۱۲±۱/۰۸ ^d	۳/۲۸±۰/۷۶ ^c
	۴۵	۱۳/۳۳±۴۰/۷۸ ^e	۰/۱۶±۰/۰۷ ^{cd}	۰/۴۴±۰/۰۹ ^{abc}	۰/۶۰±۰/۰۹ ^{abc}	۵/۸۶±۱/۰۵ ^d	۳/۵۶±۱/۰۴ ^c

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($P < 0.05$).

شکل ۴- مقایسه خصوصیات حسی نمونه‌های بهینه و شاهد در روز سی‌ام پس از تولید

ستون‌های دارای حروف متفاوت از لحاظ آماری دارای میانگین متفاوت هستند ($P < 0.05$)

(بهینه ۱: ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، ۴۶٪ گانودرما لوسیدیوم؛ بهینه ۲: ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، ۵۳٪ گانودرما لوسیدیوم)

چسبندگی در اجزای خمیر و افزایش قابلیت توزیع یکنواخت‌تر سلول‌های گازی و در نهایت ایجاد ساختمانی منسجم و بهبود خاصیت ارتجاعیت در محصول گردد (Lopez et al., 2004). به نظر می‌رسد این امر می‌تواند دلیلی بر کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$)، میزان پیوستگی و ارتجاعیت تیمار حاوی ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و ۵۳٪ گانودرما

نمونه‌های مسقطی رژیمی تولید شده تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد از حیث چسبندگی و صمغیت نشان نداشتند ($P > 0.05$). میزان انسجام و پیوستگی بافت با توان ترکیبات به‌کار رفته در فرمول در قابلیت جذب و نگهداری آب مرتبط است. به علاوه، حضور مقادیر بیشتر آمیلوپکتین (دارای شاخه‌های جانبی بیشتر) در نشاسته سیب‌زمینی نسبت به نشاسته گندم، می‌تواند سبب بهبود حجم، ایجاد

لوسیدیوم (دارای درصدهای جایگزینی پایین تر نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی) نسبت به تیمار حاوی ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۴۶٪/۰ گانودرما لوسیدیوم و نمونه شاهد باشد. نتایج حاصل در جدول ۶ بیانگر افزایش قابلیت جویدن نمونه های مسقطی رژیمی تولید شده در مقایسه با نمونه شاهد بود، که علت این امر را می توان به افزایش جذب آب فرمولاسیون ناشی از حضور گانودرما و بتاگلوکان موجود در آن نسبت داد (Jairo Lindarte et al., 2019).

خصوصیات حسی

طبق نتایج شکل ۴، اثر تیمار (جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و استفاده از قارچ گانودرما لوسیدیوم) بر خصوصیات حسی مسقطی رژیمی غنی شده نظیر طعم و مزه، پس طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی معنی دار نبود. این نتیجه به این معنی است که حذف بخشی از شکر و نشاسته گندم و جایگزینی آنها در فرمول مسقطی و همچنین کاربرد گانودرما لوسیدیوم به عنوان یک ترکیب عملگر، هیچ گونه اثر نامطلوبی بر خواص حسی محصول نهایی نداشت و عطر و طعم اضافی در محصول ایجاد نکرد. از نتایج به دست آمده می توان اینطور استنباط نمود که ویژگی های مختلف سوکرالوز و ایزومالت مانند مزه، رنگ، شیرینی و ایجاد بافت شباهت زیادی به شکر دارد و جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت در محصول می تواند نقش مؤثری در تشابه بیشتر از حیث ویژگی های حسی نسبت به نمونه شاهد داشته باشد (Carakostas et al., 2012). همچنین می توان اظهار نمود که استفاده از گانودرما لوسیدیوم به عنوان یک ترکیب عملگر اثر نامطلوبی بر خصوصیات حسی محصول نهایی نداشت. Martinez- Cervera و همکاران (۲۰۱۴) با مقایسه انواع پلی آل ها به عنوان جایگزین شکر در مافین (کاپ کیک) تفاوت محسوسی را بین پذیرش مافین های دارای شکر و سایر شیرین کننده ها گزارش نکردند.

نتیجه گیری

افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و جایگزین کردن شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت در مقادیر بالاتر

باعث افزایش دانسیته محصول شد. با بررسی اثر هر کدام از متغیرهای مستقل، می توان چنین نتیجه گرفت که متغیرهای جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی در سطوح ارزیابی شده اثر معنی داری بر چسبندگی و ارتجاعیت بافت نمونه های تولیدی نداشتند. بررسی تأثیر متقابل متغیرها نیز نشان داد که اثر همزمان جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی در مقدار ۷۵٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و مقدار ۲۵٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت می تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش سفتی بافت و نرم تر شدن نمونه های مسقطی رژیمی داشته باشد. روش سطح پاسخ به عنوان روش آماری بهینه سازی و مدل سازی توانست شرایط بهینه تولید مسقطی رژیمی غنی شده توسط جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و قارچ گانودرما لوسیدیوم را در سطوح به کار رفته به خوبی پیش بینی نماید، و نمونه های بهینه به دست آمده توسط مدل شامل ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۴۶٪/۰ گانودرما لوسیدیوم و ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۵۳٪/۰ گانودرما لوسیدیوم بود. بر اساس نتایج حاصل، تولید مسقطی رژیمی دیابتی غنی سازی شده با جایگزین کردن بخشی از شکر با سوکرالوز- ایزومالت و استفاده از گانودرما لوسیدیوم به طور موفقیت آمیزی امکان پذیر است به گونه ای که میزان قند کل کاهش و میزان پروتئین و ویتامین D محصول افزایش یافت، و ویژگی های فیزیکی و حسی آن تغییر محسوسی نکرد.

تشکر و قدردانی

از شرکت دانش بنیان سلامت گستران آرایان به دلیل همکاری های علمی و پژوهشی در راستای محقق شدن این تحقیق کمال تشکر را دارد.

منابع

- AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 12-46.
- AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 50-80.
- Akesowan, A., 2009. Quality of reduced-fat chiffon cakes prepared with erythritol-sucralose as replacement for sugar. *Pakistan J Nutr*, 8(9): 1383-1386.
- AOAC, 2002, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th Edn., AOAC International, Maryland.

- Aston, L.M., Stokes, C.S., & Jebb, S.A., 2008. No effect of a diet with a reduced glycaemic index on satiety, energy intake and body weight in overweight and obese women. *International Association for the Study of Obesity (London)* 32: 160–165.
- Bishop, K.S., Kao, C.H.J., Xu, Y., Glucina, M.P., Paterson, R.R.M., Ferguson, L.R., 2015. From 2000 years of *Ganoderma lucidum* to recent developments in nutraceuticals. *Phytochemist*, 114: 56–65.
- Carakostas, M., Prakash, I., Kinghorn, A.D., D.WU, C., Soejarto, D., 2012. Steviol Glycosides. Kearsley, M.W., Boghani, N. Maltitol. In: Nadors, L.O.B., editor. *Alternative Sweeteners*. 4 th ed. Taylor & Francis group, 159: 299-315.
- Emami, N., Nateghi, L., & Eshaghi, M.R., 2020. The study of the effect of sucrose replacement by sucralose- isomalt mixture on the qualitative characteristics of kermanshah's traditional baklava. *J Food Rese*, 29: 71-88, [in Persian].
- Gao, Y., Zhou, S.h., Huang, M., & Xu, A., 2003. Antibacterial and antiviral Value of genus *Ganoderma* P. Karst. Species (Aphyllorphomycetidae): a review. *Int. J. Med.Mushr*, 5(3): 235 - 346.
- Ghandehari Yazdi, A. P., Hojjatoleslami, M., Keramat, j., & Jahadi, M., 2013. Study on the effect of replacing sucrose with Sucralose- Maltodextrin on the rheological properties and the amount of calories in Ghotab- A traditional confectionary. *Innov Food Technol*, 2: 49-58, [in Persian].
- Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P., Blanco, C., & Rosell, C.M., 2006. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocoll*, 21: 167-173.
- Grotz, V. L. & Munro, I. C., 2009. An over view of the safety of sucralose. *J of Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 55: 1-5.
- Jairo Lindarte, A., Luis-Felipe, G., 2019 .Effects of replacing fat by betaglacans from *Ganoderma lucidum* on batter and cake properties. *J Food Sci Technol*, 56(1): 451–461.
- Jali, E., Keramat, J., Hojjatoleslami, M., Jahadi, M., 2013. tudy on the effects of replacing sucrose with sucralose/isomalt on physicochemical properties of rotary mold biscuits. *Innov Food Technol*, 1(1): 49-64, [in Persian].
- Keypour, S., Riahi, H., & Rafati, H., 2013. Overview of biologically active compounds and therapeutic properties of *Ganoderma leucidum*. *J Med Plants*, 2(46): 13-24 [in Persian].
- Kroger, M., Meister, K., & Kava, R., 2006. Low-calorie sweeteners and other sugar: A review of the safety issues. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf*, 5 :35-47.
- Le-Bail, A., Nicolitch, C., & Vuillod, C., 2010. Fermented frozen dough: impact of pre-fermentation time and offreezing rate for a pre-fermented frozen dough on final volume of the bread. *Food Bioproc Technol*, 3(2): 197-203.
- Lin, S.D., Lee, C.C., Mau, J.L., Lin, L.Y., & Chiou, S.Y., 2010. Effect of erythritol on quality characteristics of reduced-calorie Danish cookies. *J Food Qual*, 33: 14-26.
- Lopez, A.C.B., Pereira, A.J.G., and Junqueira, R.G. 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten free white bread. *Braz Arch Biol Technology*, 47: 63-70.
- Majzoobi, M., Sariri Ghavi, F., Farahnaky, A., Jamalain, J. & Mesbahi, G., 2011. Effect of tomato pomace powder on the physicochemical properties of flat bread (Barbari Bread). *J. Food. Process. Preserv*, 35: 247–256.
- Manisha, G., Soumya, C. & Indrani, D., 2012. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloid and emulsifiers for replacement of suger in cakes. *Food Hydrocoll*, 29: 363-373.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., & Sanz, T., 2014. Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: thermal, rheological, texture and acceptability properties. *Food Hydrocoll*, 35: 1-8.
- Matsakidou, A., Blekas, G., & Paraskevopoulou, A., 2010. Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. *Food Sci Technol*, 43: 949-957.
- Mortazavinezhad, S., Abbasi, H., & Jahadi, M., 2016. Optimizing the components of the sponge cake containing acar. *J Res Innov Food Sci Technol*, 1(5): 1-14 [in Persian].
- National institute of standard and industrial research of Iran. (1383). Foodstuffs - Determination of vitamin D by high performance liquid chromatography- Measurement of cholecalciferol (D3) or ergocalciferol (D2). 13579. First edition [in Persian].
- Nourmohammadi, A., & Peyghambaroust, S. H., 2011. Feasibility study of low-calorie cake repairation with erythritol and oligo-fructose. *Iranian J of Nutr Scienc and Food Technol*, 7: 85-92.[in Persian].
- Obodai, M., Mensah, D.L.N., Fernandes, A., Kortei, N.K., Dzomeku, M., Teegarden, M., Schwartz, S.J., Barros, L., Prempeh, J., Takli, R.K., & Ferreira I.C.F.R., 2017. Chemical Characterization and Antioxidant Potential of Wild *Ganoderma* Species from Ghana. *Molecules*, 22: 1-18.
- Omidvar, J., Hojjatoleslami, M., Ghabousi, S. H., Ghandehari Yazdi, A. P., & Shariati, M. A., 2014. The Investigation of Saccharose Replacing by Adding Maltodextrin-Stevioside Mixture on the Rehological and Sensory Properties of Hlava Masghati Lari (an Iranian Confectionary). *In. J. Sci. Res Eng. Technol*, 3: 748-754, [in Persian].

- Peighambardoost, H., Nourmohammadi, A., Ghafari, A., Azadmard Damirchi, S. and Hesari, J., 2011. The affection of saccharose replacement by alcoholic sugar and aspartame on sponge cake properties. *J of food sci rese*, 21(2): 155-165, [in Persian].
- Pilehvaran, M., Toolakipour, H., & Beiraghi Tousi, S.h., Shafafizanouzian, M., 2014. Optimal formulation of low-calorie Yazdi cake using stevioside, isomalt and sorbitol sweeteners. Mashhad: *Iran J Nutr Sci Food Technol*, [in Persian].
- Ronda, F., Gamez, M., Blanco, C.A. & Caballero, P.A., 2005. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes, *Food Chem*, 90(4): 549-555.
- Sanz-Penella, J.M., Wronkowska, M., SoralŚmietana, M., Collar, C., Haros, M., 2010. Impact of the addition of resistant starch from modified pea starch on dough and bread performance. *Eur Food Res Technol*, 231(4):499-508.
- Saricoban, C., & Yilmaz, M.T., 2010. Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. *World Appl Sci J*, 9: 14-22.
- Savitha, Y. S., Indrani, D. & Prakash, J., 2008. Effect of sugar with sucralose and maltodextrin on rheological charateistics of wheat flour dough and quality of soft dough and quality of soft dough biscuit. *Journal of Texture studies*, 39: 605-616.
- Schirmer, M., Höchstötter, A., Jekle, M., Arendt, E., & Becker, T., 2012. Physicochemical and Morphological Characterization of Different Starches with Variable Amylose/amylopectin Ratio, *Food Hydrocoll*, 32: 52-63.
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., Kaur, A., 2016. Wheat starch production, structure, functionality and applications —a review. *In. J. Food. Sci. Technol*.
- Tomasik, P., 2009. Specific physical and chemical properties of potato starch. Global Sciences Books, 45-56.
- Vittadini, E., & Vodovotz, Y., 2003. Changes in the physicochemical properties of wheat and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. *Food. Eng. Physic Proper*, 68: 2022-2027



Production of Masghati sweets formulation containing *Ganoderma lucidum* by replacing sucrose and wheat starch with sucralose-isomalt and potato starch by response surface methodology

M. Heidarian¹, M. Goli^{*2}

Received: 2020.07.23

Accepted: 2020.09.06

Introduction: Lifestyle modifications related to change in the eating quality and quantity along with mental stress led to the prevalence of non-communicable diseases. Based on the consumer's demand, food scientists are now focusing on developing sugar free or low- carbohydrate, fat free, low calorie, and fiber and protein rich foods. Masghati is one of the Iranian traditional sweets, which is very popular due to its desirable texture and sensory properties. However, considering its high sugar content, its consumption is restricted in obese and diabetics. In recent years, a number of artificial sweeteners like saccharine, acesulfame-K, aspartame, which are sweeter than sucrose and nontoxic, have been developed and introduced to replace sugar. One more sweetener, sucralose, has gained the approval of the Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Sucralose, the only noncaloric sweetener originated from sugar is approximately 600 times sweeter than sucrose and is marketed for broad use in food and beverages in over 30 countries worldwide. Isomalt is a sweet, low-calorie bulking agent with properties and characteristics similar to sucrose. It is a sugar alcohol that is odorless, crystalline, and non-hygroscopic. The sweetening power of isomalt lies between 0.45 and 0.60 as compared with that of sucrose. *Ganoderma lucidum* is a wood-degrading mushroom that is treasured as a functional food since primitive times. *Ganoderma* is a rich source of protein, carbohydrate, fat, fiber and ash. No research has been done on the use of *Ganoderma lucidum* and substituting sucrose with sucralose-isomalt, as well as substituting wheat starch with potato starch in Masghati formulation. Therefore, the aim of this study was to investigate the possibility of enrichment this product with *Ganoderma lucidum* and sucrose substitution with sucralose-isomalt and wheat starch substitution with potato starch.

Materials and Methods: Materials used in Masghati formulation consisted of wheat and potato starch (Shahdineh Aran Co), isomalt, sucralose, *Ganoderma lucidum* were supplied from salamatgostaran arayan Co. All chemicals were from Merck Co. The formulation of Masghati include wheat starch (9.34%), sugar (46.72%), oil (9.34), saffron (0.02%), cardamom (1.4%), rosewater (23.36%) and vanilla (0.48%) were selected. To produce Masghati, the mixture of sugar, oil and water was heated to boiling temperature and complete dissolution. After the heat treatment (100°C for 2h), the mixture was cooled to 40°C and the wheat starch was added and mixed. At the end, saffron, cardamom, rosewater and vanilla were added. The prepared mixture was molded and placed at 18°C for 24h. Moisture, protein and sugar were determined according to AOAC (2000) and AACC standard numbers, 46-12 and 01-50-80. The density was also determined according to (Le-Bail *et al.*, 2010). High-performance liquid chromatography measurement of vitamin D was performed according to National institute of standard number 13579. Textural properties were determined using a Texture Analyzer. In this study, the effects of sucrose replacement with sucralose-isomalt (0-100%), wheat starch replacement with potato starch (0-100%) and *Ganoderma lucidum* (0-1%) on physicochemical and textural properties (density, hardness, adhesiveness, springiness) were investigated by response surface methodology (RSM) in the form of a central composite design with 6 central point ($\alpha=2$). Optimal and control samples were examined in terms of qualitative characteristics such as moisture, protein, sugar, vitamin D, density, textural (hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess, *chewiness*) and sensory properties during 0, 15, 30 and 45 days after production. Comparison of the optimal and control samples was done in a Duncan's new multiple range test using SPSS ver: 9.1 software.

Results and Discussion: The results revealed that increase in the percentage of wheat starch replacement with potato starch and replacing sucrose with sucralose-isomalt in higher amounts resulted in an increase of the density. The variables of sucrose substitution with sucralose-isomalt and wheat starch with potato starch at the assessed levels did not have a significant effect on the adhesiveness and springiness of the produced samples. The interaction effect of

1. MSc, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, and Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

(*Corresponding Author Email: mgolifood@yahoo.com)

sucrose substitution with sucralose-isomalt and wheat starch with potato starch showed that, in 75% level of wheat starch substitution with potato starch and 25% sucrose substitution with sucralose-isomalt had a significant effect on reducing hardness and softening samples. Treatments obtained by the model contain 62% sucrose substitution with sucralose-isomalt , 40% wheat starch substitution with potato starch and 0.46% *Ganoderma lucidum* and 52% sucrose substitution with sucralose-isomalt, 36% wheat starch substitution with potato starch and 0.53% *Ganoderma lucidum*, were introduced as optimal samples to maintain the quality characteristics and increase Masghati nutritional value. Considering the results, substitution a part of the sucrose with sucralose-isomalt and using *Ganoderma lucidum* in Masghati formulation led to a successful reduction of total sucrose, and an increment of protein and vitamin D.

Keywords: Dietary Masghati, Substitution, Sucralose-isomalt, Potato starch, *Ganoderma lucidum*, Optimization.



مقاله پژوهشی

مقایسه انرژی ویژه و بازده خشک کن خورشیدی تحت تاثیر نوع جمع کننده و بررسی برخی خصوصیات گوجه فرنگی خشک شده

هادی صمیمی اخیحجانی*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۳۰

چکیده

یکی از مهم ترین مشکلاتی که در سامانه های خورشیدی مانند خشک کن های خورشیدی وجود دارد، پایین بودن بازدهی حرارتی آن ها است که این امر باعث شده است کشاورزان برای خشک کردن محصول به استفاده از روش هایی روی آورند که یا از نظر اقتصادی به صرفه نیست و یا کیفیت محصول به دست آمده بسیار پایین است. استفاده از مواد ذخیره کننده انرژی از راه حل های موثر برای افزایش بازده حرارتی است. در این پژوهش بازده خشک کردن و انرژی ویژه مصرفی برای سه نوع خشک کن کابینتی مجهز به جمع کننده صفحه تخت، سهموی و لوله خلا به طور مجزا بررسی شد. علاوه بر آن برخی خصوصیات گوجه فرنگی شامل رنگ، چروکیدگی و نسبت بازجذب رطوبت ارزیابی شد. ارزیابی ها نشان داد استفاده از ماده تغییر فاز دهنده (پارافین) تا حد زیادی می تواند به بهبود بازده خشک کردن کمک نماید. با پیوسته نمودن سامانه، خشک کردن محصول می تواند حتی در نیمه های شب نیز انجام گیرد. بالاترین میزان بازده خشک کردن برای خشک کن مجهز به جمع کننده لوله خلا به میزان ۳۹/۰۲ درصد به دست آمد. این در حالی بود که مقداری از انرژی مصرفی نیز در مخزن ذخیره کننده باقی مانده بود. کمترین میزان انرژی ویژه به میزان ۷/۱۲ مگاژول بر کیلوگرم مربوط به همین حالت بود. ورقه های خشک شده با خشک کن مجهز به جمع کننده لوله تخلیه، کیفیت بهتری از نظر تغییر رنگ (۲۰/۱۶)، چروکیدگی (۷۸/۲۱٪) و نسبت بازجذب (۳/۰۹) نسبت به سایر سامانه ها داشتند.

واژه های کلیدی: انرژی ویژه، چروکیدگی، رنگ، مواد تغییر فاز دهنده، نسبت رطوبت.

مقدمه

فسیلی استفاده می شود. از بین روش های اشاره شده روش خشک کردن مستقیم در مقابل پرتوهای خورشیدی در ایران بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. اما مدت زمان طولانی خشک شدن، هجوم حشرات، اثرات رطوبت محیطی و وزش باد و قهوه ای شدن، باعث کاهش قیمت محصول خشک شده می گردد و سود ناچیزی برای تولیدکننده حاصل می شود. استفاده از روش هوای داغ به دلیل کیفیت مناسب محصول خشک شده به عنوان یک جایگزین مناسب برای روش مستقیم خورشیدی مطرح است. اما علاوه بر کیفیت، عامل دیگری در خشک شدن محصول مورد توجه است. هزینه نهایی محصول در این روش به دلیل افزایش قیمت سوخت های فسیلی و ایجاد مشکلات زیست محیطی بسیار بالا است (Othman et al., 2017). روش دیگری که برای خشک کردن محصولات کشاورزی به تازگی بیشتر مورد توجه است، استفاده از خشک کن های خورشیدی است که به طور عمده و به صورت غیرمستقیم محصول را خشک می کند. محصول خشک شده با استفاده از این روش کیفیت روش هوای داغ را داشته و علاوه بر آن

خشک کردن محصولات کشاورزی یکی از عمده ترین راه های جلوگیری از فساد محصول است. در این حالت آب آزاد از محصول خارج می شود، رشد قارچ ها و میکروارگانیسم ها کاهش یافته و از تخریب ساختار محصول به حد زیادی جلوگیری خواهد شد. این امر به خصوص در فصل تولید که تلفات محصول زیاد است، اهمیت دارد. بر این اساس کشاورزان سعی می کنند از روش های مختلفی برای فرآوری استفاده کنند. خشک کردن محصول و ذخیره سازی آن برای فصولی که محصول در دسترس نیست یکی از راه کارهای مناسب است. روش های مختلفی برای خشک کردن محصولات کشاورزی وجود دارد که عبارتند از خشک کردن با روش های مستقیم و غیرمستقیم خورشیدی، هوای داغ، روش مایکروویو، روش خلا و انجمادی. خشک کردن به روش مایکروویو، خلا و انجمادی به دلیل هزینه اولیه (تجهیزات) بالا و مقدار انرژی مصرفی زیاد برای خشک کردن کمتر مورد توجه است. علاوه بر آن در سامانه های فوق به صورت مستقیم و غیرمستقیم از سوخت های

قیمت مناسبتری دارد. به عبارت دیگر خشک‌کن‌های خورشیدی، مشکلات اشاره شده در مورد خشک‌کن‌های معمول را برطرف نموده و به دلیل در دسترس بودن منبع انرژی بیشتر مورد توجه است (Motehayar et al., 2018).

خشک‌کن‌هایی که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند باعث بروز مشکلات عمده زیست‌محیطی می‌گردد. علاوه بر آن قیمت بالای محصول تولیدی باعث شده است که تمایل کشاورزان به استفاده از سامانه‌های خورشیدی (به عنوان منبع پاک و رایگان) بیشتر شود. به عبارت دیگر با کاهش منابع سوخت‌های فسیلی قیمت این نوع انرژی‌ها در حال افزایش بوده و در نتیجه قیمت محصول تولیدی نیز بیشتر می‌گردد (Purohit and Kandapal, 2005; Purohit et al., 2006; Motahayyer et al., 2018). از طرف دیگر کشاورزان به دلیل تلفاتی که در حین حمل و نقل به محل فرآوری وجود دارد، نزدیک بودن خشک‌کن‌ها به محل تولید را در اولویت قرار می‌دهند و نیاز به منابع انرژی قابل دسترس و ساده تاکید می‌کنند. خشک‌کن‌های خورشیدی به صورت عمده مجهز به جمع‌کننده‌هایی^۱ هستند که انرژی تشعشعات خورشیدی را به انرژی حرارتی تبدیل می‌کند. این جمع‌کننده‌ها می‌توانند به صورت متمرکز و یا ساده می‌توانند انرژی خورشیدی را به انرژی حرارتی تبدیل کند. اما این سامانه‌ها به دلیل آن که انرژی خورشیدی را کمتر به انرژی حرارتی تبدیل می‌کنند، بازده کمتری دارند. در این راستا اقدامات زیادی برای افزایش میزان کارایی جمع‌کننده‌های خورشیدی و به تبع آن خشک‌کن‌های خورشیدی انجام گردیده است تا بتوان محصولی با کیفیت بهتر با صرف انرژی و هزینه کمتر تولید نمود. از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده ذخیره‌کننده، نانوسیال‌ها، پمپ حرارتی، سامانه PV/T، منعکس‌کننده‌ها، صفحه روزه‌دار، سامانه تعقیب‌کننده خورشیدی و سامانه جریان بازگشتی اشاره نمود. تلفیق روش‌های اشاره شده نیز می‌تواند به بهبود کارکرد سامانه‌های خورشیدی کمک کند (Mohammad Zadeh et al., 2018).

یکی از محورهای اصلی در حوزه انرژی، بازده انرژی سامانه‌های تامین انرژی می‌باشد. ایران کشوری است که به دلیل فراوانی انرژی‌های فسیلی توجه کمتری به بهینه‌سازی سامانه‌های مصرف‌کننده انرژی می‌شود. اما در دهه‌های اخیر با توجه به رو به پایان بودن منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی حاصل از مصرف این نوع سوخت‌ها، در سند جامع توسعه کشور مقرر گردیده است که تا سال ۱۴۳۰ بایستی حداقل ۳۰ درصد از شبکه تولید برق، از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر تامین شود که از این میزان بیش از ۱۵ درصد مربوط به انرژی خورشیدی خواهد بود. بنابراین طراحی و ساخت سامانه‌هایی که بتواند به طور مستقل یا ترکیبی از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر (به طور عمده انرژی خورشیدی) بهره‌برداری کند، امری مهم و ضروری است

(Salami, 2016). ایران با قرار گرفتن در نیمکره شمالی با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۳۵ درجه شمالی و ۵۱ درجه شرقی و با دریافت شدت تابش خورشیدی به میزان متوسط ۷۰۰ وات بر متر مربع در روز یکی از مستعدترین نواحی برای استفاده از انرژی خورشیدی است. یکی از مهم‌ترین موارد استفاده از انرژی خورشیدی، خشک کردن محصولات کشاورزی است که نزدیک به ۱۲ درصد از انرژی صرف شده در کشاورزی، در این زمینه مصرف می‌شود (Arabhosseini et al., 2019). در بیشتر مناطق ایران به دلیل سادگی طراحی و ساخت از جمع‌کننده‌های خورشیدی با ساختارهای مختلف برای تلفیق با خشک‌کن استفاده می‌گردد و به این طریق بازده سامانه به طور محسوسی بهبود می‌یابد. علاوه بر آن کیفیت مناسب محصول خشک شده با استفاده از سامانه‌های خورشیدی باعث شده است که استفاده از این نوع سامانه‌ها به خشک کردن در مقابل آفتاب اولویت داده شود (Motahayyer et al., 2017). استفاده از مواد تغییر فازدهنده از مواردی است که به طور قطع می‌تواند باعث بهبود کارایی سامانه‌های حرارتی به خصوص خورشیدی می‌شود (Ashrabi-Ananno et al., 2020; El Khadraoui et al., 2017; Shalaby and Bek, 2014; Shalaby et al., 2014; Tay et al., 2014).

انرژی مصرف شده برای خشک کردن میزان مشخص محصول، از چالش‌هایی بوده است که همیشه توسط محققان مورد محاسبه و توجه قرار گرفته است. انرژی مصرف شده به صورت مستقیم بر راندمان خشک کردن محصول تاثیر می‌گذارد (Dorouzi et al., 2018). اگر کیفیت محصول مناسب باشد، اما انرژی ویژه مصرف شده برای محصول بالا باشد، در آن صورت تولید محصول خشک شده اقتصادی نخواهد بود. بنابراین در این تحقیق انرژی مصرفی ویژه، بازده خشک کردن و کیفیت محصول خشک شده شامل رنگ، چروکیدگی و نسبت باز جذب آب در سه سامانه خشک شدن خورشیدی کابینتی مجهز به (الف) با جمع کننده صفحه تخت، (ب) با جمع کننده سهموی و (ج) با جمع کننده لوله تخلیه به صورت مجزا در مورد خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. اختلاف رنگ بین نمونه‌های تازه و خشک شده به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در انتخاب محصول برای مشتری مطرح می‌شود (Magdic et al., 2009). چروکیدگی نیز یکی دیگر از شاخص‌هایی است که برای انتخاب محصول خشک شده در نظر گرفته می‌شود. محصولی که چروکیدگی زیادی داشته باشد به دلیل ظاهر نامتعارف و فاصله ظاهری زیاد با نمونه تازه اغلب توسط مشتری انتخاب نمی‌شود (Moreira et al., 2000). سومین پارامتری که در این تحقیق در نظر گرفته شده است نسبت باز جذب محصول است که بستگی به نحوه خشک کردن آن دارد. در هر سه سامانه از مواد تغییر فاز دهنده به عنوان ذخیره‌کننده انرژی و همگن‌کننده حرارت ورودی

سطوح اطراف جمع کننده، کانال و خشک کن با استفاده از پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی متر با ضریب هدایت حرارتی $0.38/0$ وات بر متر کلون عایق بندی شدند. جریان هوا در داخل سامانه با استفاده از یک فن دمنده الکتریکی (پره ای) DC ۱۲ ولت، ۲۵ وات (Sunnon, Sk25) که در خروجی کابینت خشک کن نصب شده بود، صورت می گرفت. با استفاده از یک مبدل الکتریکی با تغییر جریان توان، سرعت های مختلف برای هوای جریان یافته در سامانه امکان پذیر بود. علاوه بر آن برای افزایش کارایی سامانه از مواد تغییر فازدهنده نیز استفاده گردید. برای این منظور از یک لوله مسی مارپیچ که درون جمع کننده و بر روی صفحه قرار گرفته بود استفاده گردید. در درون این لوله از مواد تغییر فاز دهنده قرار داده شده بود. در طول روز با تابش خورشید به سطح صفحه انرژی خورشیدی جذب صفحه شده و با عبور هوا از درون جمع کننده، با پدیده همرفت، جریان هوا گرمای صفحه را جذب نموده و وارد کابینت خشک کن می نمود. در این حین مواد تغییر فاز دهنده مقداری از انرژی خورشیدی رسیده به سطح صفحه را جذب نموده (به خصوص در مواقع ظهر از ساعات ۱۳:۰۰ تا ۱۵:۰۰) و در مواقعی که تابش خورشیدی وجود ندارد انرژی خود را پس داده و گرما برای ادامه روند خشک شدن محصول وارد کابینت می شود. علاوه بر آن از یک حس گر فوتوسل برای تعقیب تشعشعات خورشیدی استفاده شد. شماتیک این خشک کن با اجزای مربوطه در شکل ۱ نشان داده شده است.

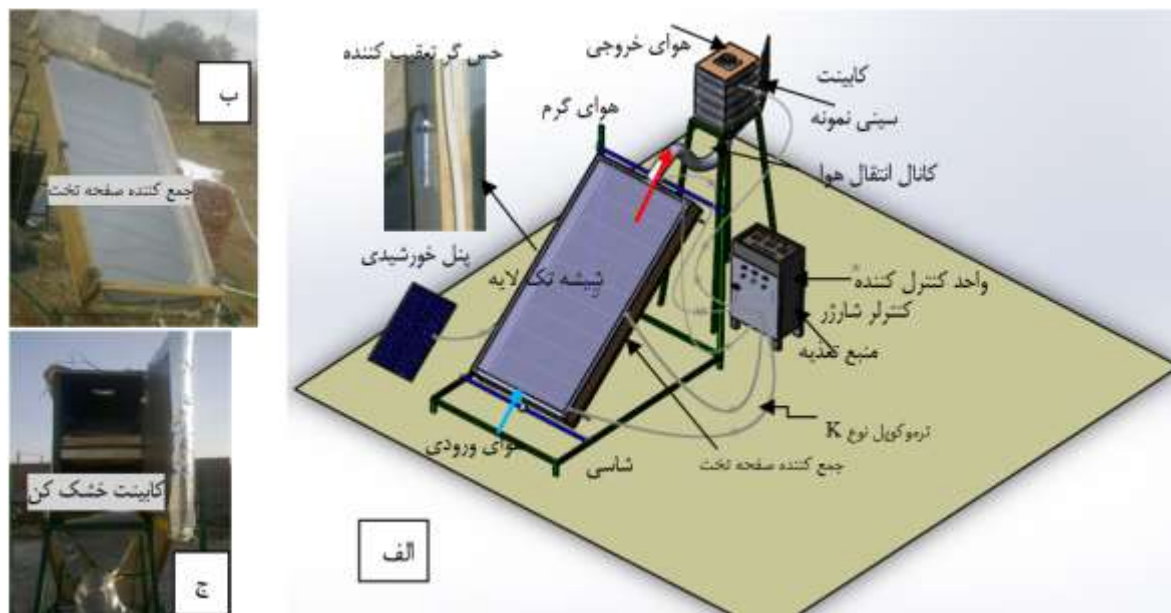
استفاده شد. علاوه بر آن کیفیت محصول خشک شده با استفاده از هر سه سامانه مقایسه بررسی گردید و بهینه ترین حالت معرفی شد.

مواد و روش ها

تهیه و آماده سازی مواد آزمایشگاهی

خشک کن های مورد استفاده در این تحقیق شامل یک خشک کن کابینتی است که به یک جمع کننده صفحه تخت، جمع کننده سهموی و جمع کننده لوله تخلیه به صورت جداگانه اتصال داده شد. در تمامی این خشک کن ها از مواد ذخیره کننده انرژی به صورت تغییر فاز برای بهره گیری حداکثری از انرژی خورشیدی استفاده شد. در ادامه در مورد ویژگی هر سامانه و نحوه خشک کردن و روند انتقال حرارت توضیح داده می شود.

خشک کن مجهز به جمع کننده صفحه تخت شامل صفحه جاذب، فن الکتریکی دمنده هوا و کابینت خشک کن بود. صفحه جاذب یک صفحه مستطیلی از جنس گالوانیزه به اندازه ۲۰۰۰ میلی متر در ۹۵۰ میلی متر، به ضخامت یک میلی متر بود که برای جذب حداکثری تابش خورشیدی، روی صفحه جمع کننده به صورت همگن به رنگ سیاه مات با بازده اپتیکی $0.71/0$ در آمده بود. همچنین برای پوشش جمع کننده شیشه چهار میلی متری تک لایه (با ضریب صدور $0.87/0$) در فاصله ۲۰۰ میلی متر نسبت به صفحه در نظر گرفته شد. کانال انتقال هوای جریان یافته در جمع کننده نیز گالوانیزه و به صورت عایق بندی شده بود. تمام



شکل ۱- الف) شماتیک خشک کن خورشیدی مجهز به جمع کننده صفحه تخت، ب) جمع کننده صفحه تخت، ج) کابینت

با PCM، مبدل حرارتی، فن الکتریکی و کابینت خشک کن است. جمع کننده لوله خلا (SK-H13-48) شامل ۱۳ عدد لوله دو جداره به طول ۱۸۰۰ میلی متر، با مساحت موثر $7/1$ مترمربع با جذب کننده مسی

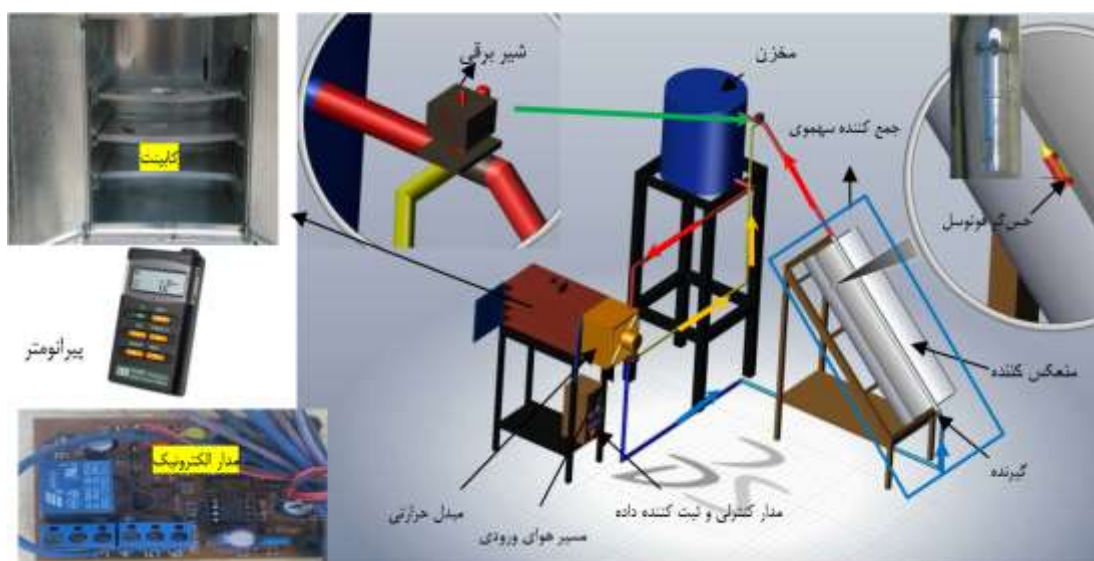
در خشک کن کابینتی دیگر از جمع کننده لوله خلا به عنوان تامین کننده انرژی حرارتی خشک کن دیگر استفاده شده است. این سامانه تشکیل شده است از جمع کننده لوله خلا، منبع ذخیره کننده همراه

جمع کننده افزایش یافته و به تبع آن دمای سیال افزایش پیدا می کند که بخشی از آن در سیال انتقال دهنده و PCM ذخیره شده و بخشی دیگر از طریق مبدل وارد سامانه خشک کن می شود. با برخورد هوای ورودی به مبدل حرارتی درجه حرارت هوا افزایش یافته و با برخورد هوای داغ با محصول عملیات خشک کردن انجام می گیرد.

به قطر داخلی و خارجی ۴۸ و ۵۵ میلی متر بود. منبع ذخیره کننده سیال یک مخزن استوانه ای از جنس استیل به قطر ۵۰۰ میلی متر، ارتفاع ۶۰۰ میلی متر و ضخامت ۲ میلی متر می باشد، که با پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی متر عایق بندی شده بود. PCM استفاده شده در این تحقیق پارافین بود که در داخل یک لوله مسی مارپیچ قرار داده شده و در درون مخزن جای می گرفت. با افزایش شدت تابش خورشیدی میزان جذب



شکل ۲- شماتیک خشک کن کابینتی مجهز به جمع کننده لوله تخلیه (خلا)



شکل ۳- شماتیک خشک کن خورشیدی مجهز به جمع کننده سهموی

فاصله ۱۰ میلی متر بین ردیف ها می باشد. با گذشت زمان و کاهش شدت تابش خورشیدی (به طور عمده از ساعت ۲۰:۰۰ به بعد)، مسیر حرکت سیال به سمت جمع کننده بسته شده و سیال فقط با جریان یافتن بین منبع ذخیره کننده و مبدل حرارتی، حرارت مورد نیاز برای خشک کردن

جریان سیال (آب) به وسیله یک پمپ با دبی ۴/۲ لیتر بر دقیقه با ولتاژ ۱۲ ولت، ۱ آمپر (NM, 32-6-180) در درون مجموعه جریان می یابد. مبدل حرارتی استفاده شده در این خشک کن (Welo Armko, Made by koshesh radiator) مبدلی است به ابعاد ۳۲۰ در ۴۸۰ میلی متر مربع بود که از ۶۸ ردیف لوله های ریز به قطر ۵ میلی متر به

استفاده شده در خشک کن خورشیدی مجهز به جمع کننده لوله تخلیه ای بود.

شرایط آزمایش و نحوه داده برداری

میزان دبی هوای جریان یافته در تمام آزمایش ها ۰/۰۱۸ کیلوگرم بر ثانیه لحاظ شد. آزمایش ها در سه روز متوالی از ۱۶ تا ۱۸ خرداد ۹۷ همه روزه از ساعت ۸:۰۰ تا ساعت ۲۴:۰۰ انجام گرفت. یک ساعت قبل از داده برداری، دستگاه به صورت آزاد در مقابل تابش خورشیدی قرار داده شد تا دمای خشک کن با محیط سازگار شده و به شرایط پایدار برسد. برای اندازه گیری رطوبت نسبی محیط از رطوبت سنج، درجه حرارت محیط و نقاط مختلف خشک کن از ثبت کننده داده و ترموکوپل، شدت تابش خورشید از سولایمتر و سرعت هوای جریان یافته در سامانه خشک کن از سرعت سنج، از ابزارهای سنجش استفاده گردید که شرح آن ها همراه با جزئیات و دقت آن ها در جدول ۱ درج شده است. علاوه بر آن ویژگی های ترازوی استفاده شده برای سنجش وزن لحظه ای نمونه ها در جدول ۱ مشخص شده است.

محصول را تامین می کند. جزئیات کامل مربوط به خشک کن خورشیدی در شکل ۲ نمایش داده شده است.

در خشک کن خورشیدی سوم از جمع کننده خورشیدی سهموی استفاده گردید. این خشک کن شامل کابینت، دمنده، مخزن ذخیره کننده سیال، مبدل حرارتی، جمع کننده خورشیدی سهموی، سامانه کنترل کننده و مکانیزم تعقیب کننده خورشیدی است (شکل ۳). جمع کننده سهموی شامل یک لوله دریافت کننده به قطر ۳۰ میلی متر به طول ۲۱۰۰ میلی متر با پوشش آلومینیوم و مس به رنگ سیاه با ضریب انتشار ۰/۰۸ و ضریب جذب ۰/۹۳ است که در کانون سهمی قرار گرفته است. از یک ورق استیلی به ضخامت ۱ میلی متر با ضریب انعکاس ۰/۸۸ و ضریب جذب ۰/۱ به عنوان منعکس کننده سهموی با ضریب تمرکز ۲۵ استفاده شد.

ذخیره کننده، یک مخزن ۲۰۰ لیتری بود که از یک طرف به جمع کننده و از طرف دیگر به مبدل حرارتی اتصال پیدا می کند. مبدل و پمپ استفاده شده در این تحقیق همانند مبدل و پمپ (با دبی یکسان)

جدول ۱- ابزارهای سنجش استفاده شده در آزمایش ها و جزئیات آن ها

نوع ابزار	مدل	محدوده اندازه گیری	کمترین واحد اندازه گیری	عدم قطعیت
سرعت سنج	AM-4206, Lutron	۰/۴ - ۲۵ m/s	۰/۱ m/s	٪۱
ثبت کننده دما	TM-914C, Lutron	-۱۰۰ - ۱۰۰ °C	۰/۰۱ °C	٪۱
رطوبت سنج	HT.3006, Lutron	٪۰ - ۱۰۰	٪۰/۱	٪۰/۰۱
ترازو	SJX1502N, Ohaus	٪۱ - ۱۵۰۰ g	۰/۰۱ g	٪۱
سولایمتر	TES-1333R, Lutron	٪۱ - ۲۰۰۰ W/m ²	W/m ²	٪۵

برای محاسبه بازده خشک کن از رابطه ۲ استفاده شده است که عبارت است از نسبت انرژی (حرارتی و مکانیکی) مصرف شده برای گرم کردن محصول و استخراج رطوبت از محصول (Q_m) به انرژی کل مصرف شده در طول فرآیند خشک کردن، شامل انرژی حرارتی سیال (Q_f) و انرژی مکانیکی (E_{mec}) (Fudholi et al., 2014):

$$\eta_{ef} = \frac{Q_m}{Q_f + E_{mec}} \quad (2)$$

انرژی لازم برای استخراج رطوبت از نمونه با در نظر گرفتن محتوای رطوبتی و گرمای ویژه محصول مطابق با رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$Q_m = w_d c_m (T_{m2} - T_{m1}) \quad (3)$$

محاسبه نسبت رطوبتی محصول و بازده خشک کن

خورشیدی

محصول انتخاب شده گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) رقم ارگون (Ergon) بود که از بازار محلی پاکدشت تهران تهیه و به صورت ورقه های ۹ میلی متری بریده شد. برای به دست آوردن محتوای رطوبت محصول از روش آون داغ مطابق با روش ارائه شده توسط Doymaz (۲۰۰۵) استفاده شد. برای محاسبه رطوبت محصول در هر لحظه از رابطه ۱ استفاده شد. که در آن M_e و M_0 ، M_t به ترتیب محتوای رطوبت لحظه ای، رطوبت اولیه و رطوبت تعادلی محصول هستند.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

4 Anemometer

5 Balancer

1 Hygrometer

2 Thermometer and thermocouple

3 Pyranometer

که در آن R_0 ، G_0 و B_0 پارامترهای رنگی قبل از خشک شدن و R ، G و B بعد از خشک شدن هستند.

چروکیدگی: تغییرات چروکیدگی بر اساس میزان تغییرات محصول تازه در حین خشک شدن تعیین می‌شود که در آن حجم، سطح یا ضخامت محصول تغییر می‌کند. در این تحقیق تغییرات حجمی در نظر گرفته شده و از رابطه ۷ برای محاسبه چروکیدگی محصول خشک شده (S_b) استفاده می‌شود (Khazaei et al., 2008):

$$S_b = 1 - \frac{V_a}{V_0} \quad (۷)$$

که در آن V_0 و V_a به ترتیب حجم نمونه‌ها قبل و بعد خشک شدن هستند. فرضیاتی که در محاسبه چروکیدگی محصول مطرح هستند عبارتند از: الف) تغییرات چروکیدگی حجمی برابر است با رطوبت تبخیر شده از محصول، ب) هر نمونه شامل قسمتی به صورت پرزهای متخلخل و قسمتی به صورت مواد جامد است که فقط پرزها با آب پر می‌شوند. در این تحقیق از روش جایجایی تولوئن برای محاسبه حجم استفاده شد. برای هر حالت، نمونه‌ها به وسیله یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شده، داخل یک ظرف به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر قرار داده شد. میزان جایجایی حجمی تولوئن به عنوان میزان حجم لحاظ می‌گردد و با استفاده از رابطه ۸ قابل محاسبه است (Yan et al., 2008). در این حالت نیز آزمایش‌ها در پنج تکرار صورت می‌گرفت.

$$V = V_f - \frac{M_{t+s} - M_f - M}{\rho_s} \quad (۸)$$

که در آن V حجم نمونه، V_f حجم ظرف، M_{t+s} جرم ظرف و سیال به اضافه جرم نمونه، M_f جرم فلاسک، M جرم نمونه نمونه و ρ جرم حجمی سیال می‌باشد.

نسبت بازجذب رطوبت: سومین پارامتری که به عنوان شاخص کیفیت در این مورد نمونه‌های گوجه‌فرنگی بررسی می‌شود، نسبت بازجذب رطوبت^۱ محصول خشک شده است. به این منظور ۳۰ گرم از نمونه خشک‌شده در یک ظرف حاوی ۲۰۰ میلی‌لیتر آب جوش مقطر به مدت سه دقیقه قرار داده و در بازه زمانی ۱۵-۱۰ ثانیه آن را از آب خارج نموده و یک پارچه تمیز خشک‌نموده و دوباره وزن می‌شود. در نهایت با استفاده از رابطه ۸ مقدار نسبت بازجذب رطوبت به دست آورده می‌شود (Taiwo and Adeyemi, 2009; Samimi-Akhijahani and Arabhosseini, 2018; Cunningham et al., 2008 و W_r).
به ترتیب وزن آب جذب شده و وزن اولیه نمونه است.

$$RR = \left(\frac{W_r}{W_d} \right) \quad (۹)$$

که در آن T_{m1} و T_{m2} به ترتیب دمای محصول در زمان t_1 و t_2 خشک کردن هستند. همچنین c_m بیان‌گر گرمای ویژه نمونه است که مقدار آن را می‌توان از رابطه ۹ به دست آورد:

$$c_m = 1465 + 3560 \left(\frac{M_p}{1+M_p} \right) \quad \text{و} \quad M_p = \left(\frac{W_w - W_d}{W_d} \right) \quad (۴)$$

که در رابطه فوق W_w و W_d به ترتیب وزن رطوبت تبخیر شده از ماده و وزن ماده خشک شده به کیلوگرم می‌باشد.

محاسبه انرژی ویژه خشک کردن

برای به دست آوردن انرژی ویژه مورد نیاز (SEC) برای خشک کردن یک کیلوگرم از محصول (گوجه‌فرنگی) از رابطه ۵ استفاده شد (Fudholi et al., 2012):

$$SEC = \frac{Q_m}{W_w} \quad (۵)$$

بررسی کیفیت محصول خشک شده

برای محاسبه تاثیر روش انتخاب شده برای خشک کردن محصول به طور خصوصیتی شامل رنگ، چروکیدگی و نسبت بازجذب در نظر گرفته شد. نمونه‌های خشک شده به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار داده شده و آزمایش‌های مورد نظر بر روی آن‌ها صورت گرفت که به صورت جداگانه در مورد نحوه به دست آوردن آن‌ها توضیحاتی ارائه می‌شود.

رنگ: پارامترهای رنگی RGB به عنوان شاخص رنگ برای محصول خشک شده از هر سه خشک‌کن خورشیدی مجهز به صفحه تخت، جمع‌کننده سهموی و جمع‌کننده لوله خلا در نظر گرفته شد. به این منظور یک جعبه چوبی به صورت مکعب مستطیل با ابعاد 600 mm × 400 mm × 400 mm همراه با دو لامپ فلورسنت ۲۳ وات (جهت نورپردازی همگن) برای داده‌برداری پارامترهای رنگی از نمونه‌ها استفاده شد. برای تصویربرداری یک دوربین دیجیتالی (Canon A3200 IS, Japan) با وضوح ۱۰ مگا پیکسل که در بالای جعبه قرار می‌گرفت، به کار برده شد. پردازش تصویر نمونه‌های ذخیره شده در نرم‌افزار Matlab V2018 در پنج تکرار برای هر نمونه مورد بررسی قرار می‌گرفت. شدت پارامترهای رنگی قرمز، سبز و آبی برای هر پیکسل بین محدوده ۰ تا ۲۵۵ تعیین شد. تغییرات رنگ RGB برای هر نمونه با استفاده از رابطه ۶ قابل محاسبه بود:

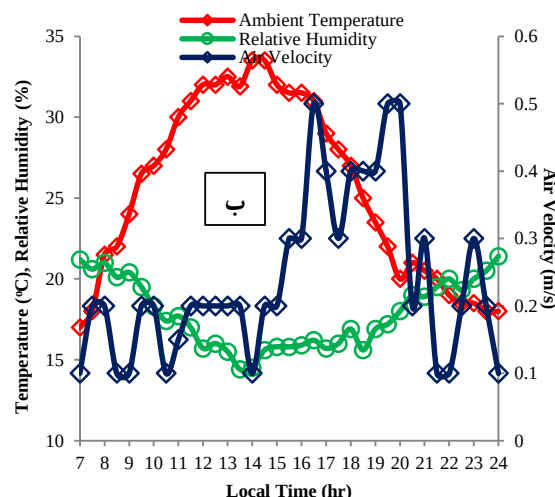
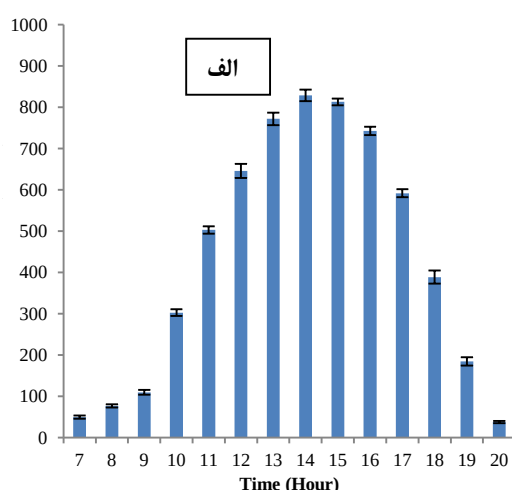
$$\Delta E_{RGB} = \sqrt{(R - R_0)^2 + (G - G_0)^2 + (B - B_0)^2} \quad (۶)$$

نتایج و بحث

تغییر عوامل محیطی

کمترین درجه حرارت محیط مربوط به ساعات آغازین فرآیند خشک کردن می باشد (۱۷/۰ درجه سلسیوس). این در حالی است که رطوبت نسبی محیط در این ساعت در بیشینه مقدار خود می باشد (۲۱/۳٪). با افزایش شدت تابش، درجه حرارت محیط افزایش و رطوبت نسبی محیط کاهش یافته و روند خشک نمودن محصول سهولت پیدا می کند. بیشترین درجه حرارت محیط در ساعت ۱۴:۳۰ اتفاق می افتد. اما شدت تابش خورشیدی در ساعت ۱۴:۰۰ به بیشینه مقدار خود می رسد. به دلیل تاخیر بین تابش خورشیدی و جذب این تشعشعات توسط هوای محیط، دمای محیط با تاخیر نسبت به تابش خورشیدی افزایش می یابد (Eltawil et al., 2018). همچنین با توجه به شکل ۴-ب می توان مشاهده نمود که تغییرات سرعت هوای محیط به صورت نوسانی بوده و بین ۰/۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه در طول ساعات خشک کردن تغییر می کند. تغییر این مقادیر به دلیل خشک کردن محصول در سه روز متوالی از یک ماه، معنی دار نبود.

شدت تابش خورشیدی یکی از مهم ترین عوامل تاثیر گذار در روند خشک کردن محصولات کشاورزی است. میانگین تغییرات شدت تابش خورشیدی بر حسب زمان در روزهای آزمایش در شکل ۴-الف نشان داده شده است. با توجه به شکل، میزان تغییرات شدت تابش خورشیدی در روزهای آزمایش جزئی بوده (کمتر از ۵ درصد) و این تغییرات اثر زیادی بر میزان انرژی خورشیدی رسیده به جمع کننده ها نداشته است. میزان تابش خورشیدی از اوایل صبح (ساعت ۷:۰۰) با شدت ۵۰ وات بر متر مربع افزایش یافته و در ساعات میانی روز (ساعت ۱۴:۰۰) به حداکثر مقدار خود ۸۲۸ وات بر متر مربع می رسد. همچنین میزان تغییرات درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت هوای محیط به طور متوسط در طول ساعات خشک کردن محصول در شکل ۴-ب نشان داده شده است. برای خشک کردن مناسب محصول دمای بالا و رطوبت نسبی پایین در محیط آزمایش، ضروری است. با توجه به نمودار،



شکل ۴- تغییرات الف) شدت تابش خورشیدی، ب) میانگین درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت هوای محیط در زمان خشک کردن

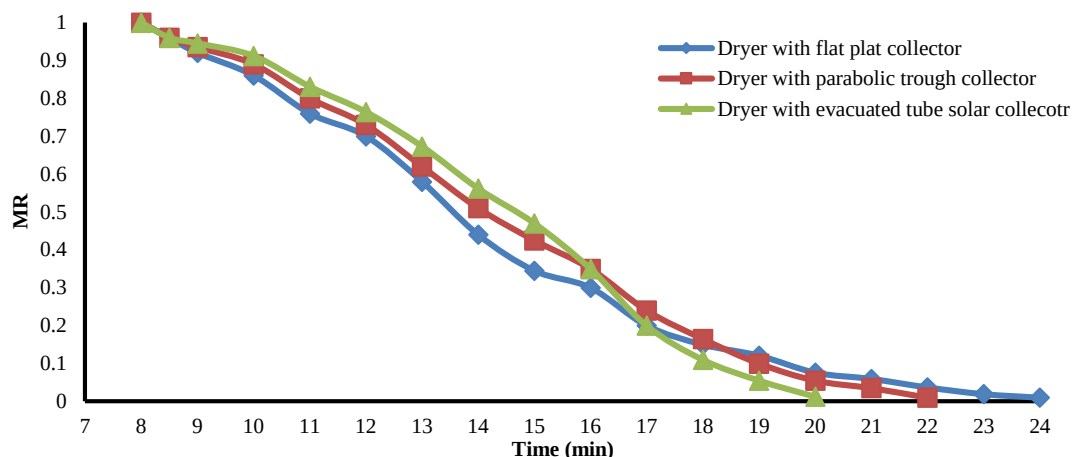
جذب انرژی توسط مواد PCM بیشترین مقدار است. میزان کاهش رطوبت برای خشک کن با لوله خلا نسبت به بقیه در ساعات بین ۸:۰۰ تا ۱۷:۰۰ کمتر است. این امر به دلیل تعداد زیاد لوله ها می باشد که زمان زیادی برای گرم کردن مجموعه نیاز است. علاوه بر آن این سامانه حالت تعقیب کننده پرتوهای خورشیدی را ندارد. اما خشک کن با صفحه تخت در مدت زمان مشابه بیشترین جذب رطوبت از محصول را به دلیل ورود بدون واسطه هوای گرم شده به خشک کن را داشته است. پس از آن با کاهش شدت تابش خورشیدی انرژی جذب شده در مخزن ذخیره کننده و مواد PCM رها شده و وارد چرخه خشک کردن محصول می گردد. حتی در صورت پیوسته بودن عملیات خشک شدن، این روند می توانست تا بعد از نیمه شب (بعد از ۲۴:۰۰) نیز ادامه یابد. به دلیل وجود مواد

منحنی های خشک کردن و زمان خشک شدن

در شکل ۵ منحنی روند خشک شدن ورقه های گوجه فرنگی در شرایط مختلف بر حسب نسبت رطوبت در مقابل زمان خشک شدن نشان داده شده است. با توجه به نمودار در ساعات اولیه صبح به دلیل پایین بودن شدت تابش میزان رطوبت از دست رفته از نمونه ها کمتر است. با گذشت زمان با افزایش شدت تابش خورشیدی دمای داخل خشک کن نیز افزایش یافته و سرعت خشک شدن افزایش می یابد. علاوه بر آن در ساعات آغازین مقداری از انرژی حرارتی توسط مواد تغییر فاز دهنده جذب می گردد که البته پس از مدتی به تعادل رسیده و با افزایش شدت تابش خورشیدی این اثر ناچیز می شود (Shalaby and Bek, 2014). در ساعات اوج تابش خورشیدی (۱۳:۰۰ تا ۱۵:۰۰) میزان

مشخص مدت زمان صرف شده برای خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۹ میلی‌متر برای خشک‌کن با جمع‌کننده لوله تخلیه، سهموی و تخت به ترتیب ۷۲۰، ۸۴۰ و ۹۶۰ دقیقه به طول انجامید.

تغییر فاز دهنده روند خشک شدن در خشک‌کن با جمع‌کننده سهموی و صفحه تخت به ترتیب تا ساعت ۲۲:۰۰ و ۲۴:۰۰ ادامه یافته است. میزان انرژی آزاد شده برای خشک‌کن با لوله تخلیه به دلیل ذخیره‌سازی حداکثری انرژی در طول روز بیشترین مقدار بود. با یک میزان محصول

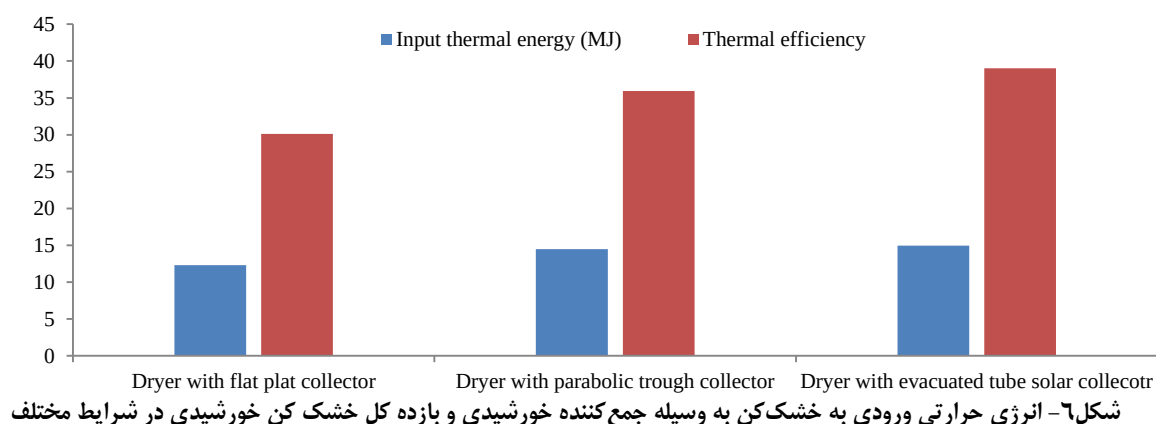


شکل ۵- تغییرات نسبت رطوبت در مقابل مدت زمان خشک شدن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در شرایط مختلف خشک‌کن‌های خورشیدی

بیشترین بازده مربوط به خشک‌کن با جمع‌کننده لوله خلا به میزان ۳۹/۰۲ درصد و کمترین آن مربوط به خشک‌کن با جمع‌کننده صفحه تخت به میزان ۳۰/۱۲ درصد است. به دلیل استفاده طولانی مدت از دمنده و همچنین پمپ میزان انرژی مصرفی افزایش یافته، بنابراین بازده خشک‌کن با جمع‌کننده صفحه تخت کاهش می‌یابد. علاوه بر آن در خشک‌کن با جمع‌کننده لوله خلا از مکانیزم تعقیب کننده که قسمتی از انرژی الکتریکی را تشکیل می‌دهد، استفاده نشده است. در این خشک‌کن با ورود هوا با دمای بالا به کابینت، مدت زمان خشک شدن کوتاه می‌شود. در تحقیقات مشابه نیز بازده خشک‌کن‌های خورشیدی بین ۲۰ تا ۳۵ درصد متغیر بوده است (Motehayar et al., 2018; Samimi-Akhijahani and Arabhosseini, 2018; Dorouzi et al., 2018).

بازده خشک‌کن و انرژی ویژه مصرفی

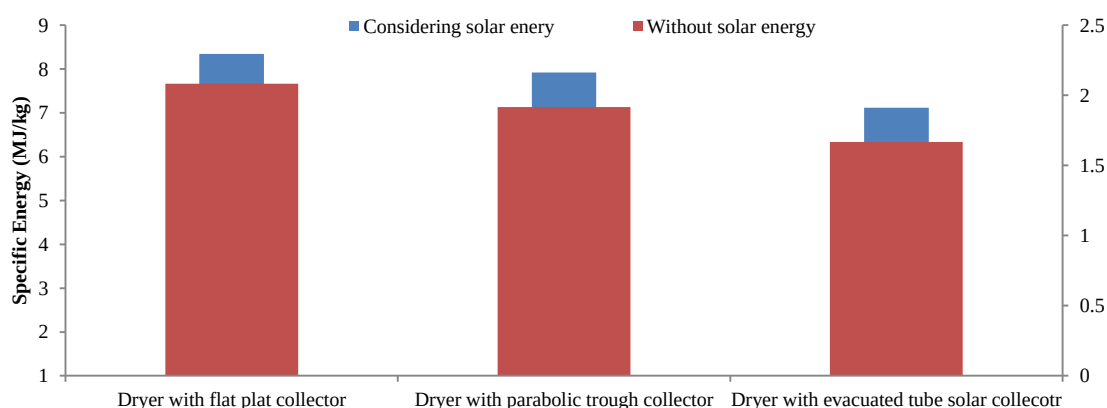
در شکل ۶، انرژی حرارتی ورودی به خشک‌کن خورشیدی به وسیله جمع‌کننده خورشیدی در سه حالت صفحه تخت، سهموی و لوله خلا با PCM نشان داده شده است. همان‌طور که از نمودار مشخص است میزان انرژی حرارتی رسیده به خشک‌کن برای سه حالت اشاره شده به ترتیب برابر است با ۱۲/۳۵، ۱۴/۴۵ و ۱۴/۹۲ مگاژول. همان‌طور که مشخص است میزان انرژی جذب شده توسط جمع‌کننده لوله تخلیه بیش از بقیه سامانه‌ها است و این امر به دلیل ذخیره بیشتر انرژی در PCM و مخزن ذخیره‌کننده سیال است. کمترین مقدار آن مربوط به خشک‌کن مجهز به جمع‌کننده صفحه تخت است. چون در این حالت به دلیل نبود مخزن انرژی حرارتی از قسمت‌های مختلف جمع‌کننده (به خصوص در ساعات حداکثر تابش خورشیدی) تلف می‌شود. همچنین در شکل ۶، بازده خشک‌کن در شرایط مختلف نمایش داده شده است.



شکل ۶- انرژی حرارتی ورودی به خشک‌کن به وسیله جمع‌کننده خورشیدی و بازده کل خشک‌کن خورشیدی در شرایط مختلف

ذخیره شده آزاد شده و توسط دمنده به درون کابینت انتقال می یابد، اما یکی از قسمت های انرژی بر یعنی مکانیزم تعقیب کننده حذف می شود. با این حال مدت زمان صرف شده برای خشک کردن محصول در خشک کن با جمع کننده صفحه تخت طولانی بوده و مصرف انرژی برای فن (دمنده) را افزایش می دهد. میزان انرژی ویژه برای سه خشک کن با صفحه تخت، سهموی و لوله خلا بدون در نظر گرفتن انرژی خورشیدی به میزان ۲/۸۳، ۱/۹۱ و ۱/۶۶ مگاژول می باشد. لازم به ذکر است، تمام انرژی وارد شده به سامانه به طور کامل به مصرف خشک کن نرسیده و مقداری در سیال و PCM ذخیره می شود. اگر چنانچه روند خشک کردن ادامه دار بود، در آن صورت این میزان انرژی می توانست مورد مصرف قرار گیرد. مقادیر به دست آمده با از تحقیقات پیشین همخوانی دارد (Dorouzi et al., 2018; Arabhosseini et al., 2019).

در شکل ۷ تغییرات انرژی مصرف شده توسط خشک کن به ازای انرژی کل وارد شده به سامانه شامل انرژی حرارتی و انرژی الکتریکی برای خشک کردن یک کیلوگرم از گوجه فرنگی نشان داده شده است. همچنین در این شکل میزان انرژی لازم برای خشک کردن بدون در نظر گرفتن انرژی حرارتی خورشیدی (به عنوان انرژی رایگان و فراوان در دسترس) لحاظ گردیده است. همان گونه که از شکل مشخص است، میزان انرژی ویژه برای خشک کن با جمع کننده صفحه تخت بیشترین مقدار است (۸/۳۴ مگاژول به کیلوگرم). این میزان برای جمع کننده سهموی و لوله خلا به اندازه ۵/۳ و ۱۴/۶۲ درصد بیشتر بود. در طول روز انرژی حرارتی رسیده از خورشید برای خشک کردن نمونه مصرف می شود و مقداری نیز در PCM ذخیره می گردد. این عملیات مصادف است با مقداری از انرژی الکتریکی که برای دمنده و مکانیزم تعقیب کننده مصرف می شود. پس از آن با غروب آفتاب انرژی حرارتی



شکل ۷- انرژی ویژه خشک کردن ورقه های سیب در شرایط مختلف خشک کردن به ازای انرژی کل و به ازای انرژی مکانیکی وارد شده به خشک کن

سلسیوس تجاوز نمی کرد. تغییرات رنگ ورقه های گوجه فرنگی حاصل شده از خشک کن با جمع کننده صفحه تخت، بیشتر از بقیه سامانه ها است. به دلیل طولانی بودن مدت زمان خشک شدن، فرآیند تغییر رنگ بیشتر از بقیه رخ می دهد. در این حالت به دلیل ورود انرژی حرارتی کم به خشک کن، مدت زمان خشک شدن طولانی شده، سلول ها و ساختار درونی نمونه آسیب دیده در نتیجه فضای بین سلولی کاهش یافته و چروکیدگی در محصول ایجاد می شود (Krokida and Kouris, 2003; Nikjooy et al., 2014). در خشک کن خورشیدی مجهز به لوله خلا، مدت زمان خشک شدن کمتر بوده و این امر مانع کاهش کیفیت رنگ و ایجاد چروکیدگی محصول می شود. علاوه بر آن به دلیل وجود پرزهای کافی در درون نمونه خشک شده، توانایی نمونه با بازجذب آب و بازگشت به حالت اولیه افزایش می یابد. استفاده از مواد تغییر فاز دهنده هیچ گونه اثر نامطلوبی بر کیفیت محصول خشک شده نداشت.

خصوصیات کیفی محصول خشک شده

در جدول ۲ نتایج حاصل از بررسی کیفی ورقه های گوجه فرنگی خشک شده با استفاده از خشک کن های مجهز به صفحه تخت، سهموی و لوله خلا نشان داده شده است. همان طور که از نتایج مشخص است، بدترین کیفیت محصول مربوط به حالتی است که محصول در مقابل خورشید، بدون هیچ واسطه ای خشک می شود. هر چند انرژی مصرف شده در این حالت کمترین مقدار است اما به دلیل کیفیت پایین قیمت پیشنهادی کمتری را به خود تعلق خواهد داد. همچنین با توجه به جدول ۲، کیفیت محصول در هر سه روش خشک کردن خورشیدی در مقایسه با روش های معمول خشک کردن و با توجه به نتایج به دست آمده، در حد مطلوب است (Dorouzi et al., 2018; Dianda et al., 2015; Ashebir et al., 2009). در دماهای بالاتر از ۷۵ درجه کیفیت گوجه فرنگی به شدت کاهش می یابد (Khazaei et al., 2008) اما در هر سه روش دمای خشک کردن محصول از بیشینه حالت از ۷۰ درجه

جدول ۲- تغییرات خصوصیات کیفی ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده در شرایط مختلف از خشک کردن

نسبت باز جذب	چروکیدگی (%)	رنگ (ΔE)	نوع جمع کننده	روش خشک کردن
۳/۰۹ ± ۰/۱۱	۸۰/۱۴ ± ۱/۲۳	۲۵/۹۳ ± ۱/۱۵	صفحه تخت	خشک کن خورشیدی کابینتی
۳/۲۳ ± ۰/۱	۸۰/۳۶ ± ۰/۷۱	۲۳/۱۰ ± ۰/۵۹	سهموی	
۳/۵۰ ± ۰/۱۴	۷۸/۲۱ ± ۱/۰۵	۲۰/۱۶ ± ۰/۷۵	لوله خلا	
۲/۹۴ ± ۰/۱۷	۸۷/۳۵ ± ۱/۲۹	۳۱/۸۷ ± ۰/۹۱		در مقابل خورشید

نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد خشک کن خورشیدی مجهز به جمع کننده صفحه تخت، سهموی، لوله خلا همراه با مواد تغییر فاردهنده (PCM) مورد ارزیابی قرار گرفت. در تمام حالت‌ها با افزایش شدت تابش خورشیدی دمای ورودی به کابینت خشک کن افزایش یافته و با گذشت زمان و نزدیک شدن به غروب خورشید کاهش می‌یابد. برای جذب حداکثری انرژی خورشیدی از مکانیزم تعقیب کننده خورشیدی در سامانه‌ها (به جز جمع کننده لوله خلا) استفاده گردید. مدت زمان خشک شدن محصول با استفاده از جمع کننده سهموی و لوله خلا به میزان ۱۲/۵۰ درصد و ۲۵ درصد به ترتیب کاهش یافت بازده خشک کن خورشیدی در هر سه حالت با جمع کننده خورشیدی، صفحه تخت، سهموی و لوله خلا به ترتیب ۳۰/۱۲، ۳۵/۹۵ و ۳۹/۰۲ درصد به دست آمد. بیشترین میزان انرژی وارد شده به کابینت خشک کن با جمع کننده لوله خلا به دلیل ساختار جذب کنندگی دایروی در طول روز اتفاق

می‌افتد. انرژی ویژه برای خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دو حالت با در نظر گرفتن انرژی خورشیدی به عنوان انرژی فراوان و در دسترس و بدون آن مورد بررسی قرار گرفت. در هر دو حالت بیشترین میزان مصرف انرژی به دلیل استفاده از انرژی الکتریکی توسط دمنده مربوط به ساختار با جمع کننده صفحه تخت بود. میزان تغییرات رنگ از ۲۰/۱۶ تا ۲۵/۹۳، چروکیدگی ۷۸/۲۱ تا ۸۰/۱۴ درصد و نسبت باز جذب رطوبت ۳/۰۹ تا ۳/۵۰ به دست آمد. کیفیت نمونه‌های خشک شده با استفاده از جمع کننده لوله خلا به دلیل کوتاه بودن مدت زمان خشک شدن محصول و نزدیک بودن به حالت اولیه مناسب‌تر از بقیه ارزیابی شد. میزان انرژی اتلافی به دلیل عدم وجود سامانه جریان بازگشتی بسیار زیاد است. به عبارت دیگر قسمت اعظمی از انرژی حرارتی از خشک کن خارج می‌شود بدون آنکه در عملیات جذب رطوبت شرکت کند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش دیگری، تاثیر استفاده از این سامانه در بهبود بازده و افزایش کیفیت محصول خشک شده بررسی شود.

منابع

- Akbari, A., M. Shahedi, N. Hamdami, S. Dokhani, and M. Sadeghi. 2009. The kinetics of moisture loss and comparison of the quality of tomato slices dried with three methods: Hot air drying, Traditional sun drying and solar drying. *Journal of science and technology of agricultural and natural resource*, 47: 445-459. (In Persian).
- Arabhosseini, A., H. Samimi-Akhijahani, and M. Motahayyer. 2019. Increasing the energy and exergy efficiencies of a collector using porous and recycling system. *Renewable Energy*, 132: 308-325.
- Ashrabi-Ananno, A., M. Hasan-Masud, P. Dabnichki, and A. Ahmed. 2020. Design and numerical analysis of a hybrid geothermal PCM flat plate solar collector dryer for developing countries. *Solar Energy*, 196: 270-286.
- Cunningham, S.E., W. A. M. McMin, T. R. A. Magee, and P. S. Richardson. 2008. Experimental study of rehydration kinetics of potato cylinders. *Food Bioprocess*, 86: 15- 24.
- Dianda, B., M. Ousmane, and S. Kam. 2015. Experimental study of the kinetics and shrinkage of tomato slices in convective drying. *African journal of food science*, 9: 262-271.
- Dorouzi, M., H. Mortezapour, H. R. Akhavan, and A. Ghazanfari Moghaddam. 2018. Tomato slices drying in a liquid desiccant-assisted solar dryer coupled with a photovoltaic-thermal regeneration system. *Solar Energy*, 162: 364-371.
- El Khadraoui, A., S. Bouadila, S. Kooli, A. Farahat, and A. Guizani. 2017. Thermal behavior of indirect solar dryer: Nocturnal usage of solar air collector with PCM. *Journal of Cleaner Production*, 148: 37-48.
- Eltawil, M., A. Mostafa, A. Azam, and A. O. Alghannam. 2018. Solar PV powered mixed-mode tunnel dryer for drying potato chips. *Renewable Energy*, 116: 594-605.
- Fudholi A., K. Sopian, M. H. Yazdi, M. H. Ruslan, M. Gabbasa, and H. A. Kazem. 2014. Performance analysis of solar drying system for red chili. *Solar Energy*, 99: 47-54.
- Karel-kroos, R., M. E. R. M. C. Mata, and M. E. M. Duarte. 2002. Shrinkage effect during the drying process of fresh pretreated tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 4: 187-194.
- Khazaei, J., G. R. Chegini, and M. Bakhiani. 2008. A novel alternative method for modeling of air temperature and slice thickness on quality and drying kinetics of tomato slices: Superposition technology. *Drying Technology*, 6: 759-775.

- Krokida, M.K., and D. Marinos-Kouris. 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of food engineering*, 57: 1-7.
- Magdic, D., J. Lukinac, S. Jokic, F. Cacic-Kenjeric, M. Bilic, and D. Velic. 2009. Impact analysis of different chemical pre-treatments on colour of apple discs during drying process. *Journal of food science*, 1: 31-35.
- Mohammad Zadeh, P., T. Sokhansefat, A. B. Kasaeian, F. Kowsary, and A. Akbarzadeh. 2015. Hybrid optimization algorithm for thermal analysis in a solar parabolic trough collector based on nano-fluid. *Energy*, 82: 857-864.
- Moreira, R., A. Figueiredo, and A. Sereno. 2000. Shrinkage of apple disks during drying by warm air convection and freeze drying. *Drying Technology*, 18: (1-2), 279-194.
- Motahayyer, M., A. Arabhosseini, H. Samimi-Akhijahani, and M. Khashechi. 2018. Application of computational fluid dynamics in optimization design of absorber plate of solar dryer. *Iranian journal of biosystems engineering*, 49 (2): 285-294.
- Nikjooy, S., and S. S. Jahanshahi. 2014. Effect of hot-air drying conditions on the quality of rhubarb (*Rheum Ribes* L.). *International journal of agricultural crop science*, 7: 230-236.
- Othman, M. F., A. Adam, G. Najafi, and R. Mamat. 2017. Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review. *Renewable and sustainable energy review*, 80: 694-709.
- Salami P. 2016. Design and construction of the PVT system to increase the energy efficiency of solar flat plate collector, [Ph.D. Thesis.], University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- Shalaby, S.M., and M. A., Bek. 2014. Experimental investigation of a novel indirect solar dryer implementing PCM as energy storage medium. *Energy Conversion and Management*, 83: 1-8.
- Shalaby, S.M., M. A. Bek, and A. El-Sebaai. 2014. Solar dryers with PCM as energy storage medium: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33: 110-116.
- Samimi-Akhijahani, H. and A. Arabhosseini. 2018. Accelerating drying process of tomato slices in a PV-assisted solar dryer using a sun tracking system. *Renewable Energy*, 123: 428-438.
- Samimi-Akhijahani, H., and A. Arabhosseini. 2018. Accelerating drying process of tomato slices in a PV-assisted solar dryer using a sun tracking system. *Renewable energy*, 123: 428-438.
- Taiwo, K.A., and O. Adeyemi. 2009. Influence of blanching on the drying and rehydration of banana slices. *African journal of food science*, 3: 307-315.
- Tay, N.H.S., M. Belusko, and F. Bruno. 2012. Experimental investigation of tubes in a phase change thermal energy storage system, *Applied Energy*, 90(1): 288-297.
- Yan, Z, Sousa-Gallagher, MJ, and Oliveira, FA, 2008. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 84(3): 430-440.



Comparison of specific energy and efficiency of solar dryer under the influence of collector type and investigation of some characteristics of dried tomatoes

H. Samimi Akhijahani*

Received: 2020.06.09

Accepted: 2020.10.21

Introduction: Drying of agricultural products is one of the main ways to prevent product spoilage. There are several methods to dry agricultural products, including direct sunlight, hot, sunny weather, microwave, vacuum, and freezer which use different energy sources. Due to constrain of fossil fuels supply, the price of this type of energy is increasing thus the tendency to use renewable energies is increasing (Purohit and Kandapal, 2005; Purohit et al., 2006). In Iran the drying efficiency of solar dryers is low because less solar energy is converted into thermal energy. Therefore, many measures have been taken to increase the efficiency of solar collectors which causes to obtain the dried samples with better quality and lower cost. In this study a combination of tracking system and phase change materials (PCM) are used to increase the efficiency of solar dryer cabinet with three types of collectors including flat plat (FPC), parabolic trough (PTSC) and evacuated tube (ETSC) collectors.

Materials and Methods: The dryers used in this study include a cabinet connected to a flat plat, parabolic trough and evacuated tube collectors. In all of the dryers, PCM have been used to maximize solar energy utilization. Moreover to get the maximum solar radiation the tracking system used in FPC and PTSC and a storage tank with fluid pump used in PTSC and ETSC. The air flow rate inside the system was about 0.018 kg.s^{-1} for all the experiments. The experiments were performed in three continues days from 16 to 18 June 2018, from 8:00 to 24:00. Tomato sample with a thickness of 9 mm was considered for drying process. To describe the drying process of the samples, the moisture ratio versus time was considered. Also, the drying efficiency was defined considering the ratio of energy (thermal and mechanical) consumed to heat the product and extract moisture from the product (Q_m) to the total energy used for drying process, including fluid thermal energy (Q_f) and mechanical energy (E_{mec}) (Fudholi et al., 2014). In order to evaluate the quality of the dried product at different modes, three quality parameters including color difference, shrinkage and rehydration ratio were considered. Color difference between the fresh and dried samples was evaluated as one of the most important factors that the customer was considered for selection (Magdic et al., 2009). The change in the volume of the dried product compared to the fresh product is defined as shrinkage. Moreover, to evaluate the rehydration ratio the weight of water absorbed by the samples was considered.

Results and Discussion: The effect of variations of the intensity of solar radiation on the amount of solar energy taken by the collectors was negligible. The time required to dry tomato slices by the dryer equipped with FPC was longer than the other systems. The results also showed that the highest drying efficiency is related to the dryer with ETSC and it was about 39.02%. The least value is related to the dryer with FPC and it was about 30.12%. Due to the long drying time the use of the fan and the pump increase and the amount of energy consumed to drying the product increases as well. Thus the efficiency of the dryer with FPC decreases. The values of specific energy for the dryer with FPC, PTSC and ETSC were obtained as 7.12, 7.92 and 8.34 MJ/kg, respectively. The results of qualitative evaluation of dried tomato slices showed that the product obtained from the dryer equipped with ETSC, due to the short drying time, the color changes and the shrinkage was suitable in comparison with the other reports. The amount of rehydration ration was the highest as well. Using PCM had no adverse effect on the quality of the dried samples. The results showed that the dryer with ETSC had higher efficiency (about 39.02%) and the quality of the samples was suitable compared to other systems. Using recycling system can improve the thermal efficiency of the solar dryer.

Keywords: Shrinkage, Colour, Solar radiation intensity, Phase change materials, Moisture ratio.

*. Assistance Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Kurdistan, Iran.
(*Corresponding Author Email: h.samimi@uok.ac.ir)



مقاله پژوهشی

تاثیر پوشش خوراکی بر پایه کیتوزان و پروتئین آب پنیر حاوی نانوکامپوزیت‌های زیستی و اسانس آویشن شیرازی بر ماندگاری پنیر فتای فراپالایش

مریم گوهرگانی^۱ - حنان لشکری^{۲*} - علیرضا شیرازی‌نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۳۰

چکیده

در طی سال‌های اخیر تمایل به استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی ضد میکروبی افزایش یافته است، که این امر باعث افزایش کیفیت، ایمنی و زمان ماندگاری مواد غذایی گردیده است. در این پژوهش از پوشش ایزوله پروتئین آب پنیر و کیتوزان به نسبت ۳۰:۷۰، حاوی نانوکامپوزیت‌های زیستی دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) و ۱ و ۲٪ و اسانس آویشن شیرازی (۱٪) جهت افزایش ماندگاری پنیر فتای فراپالایش استفاده شد. نمونه‌های پنیر تحت آزمون‌های مختلف میکروبی، فیزیکی شیمیایی و حسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که نانوذرات TiO_2 و اسانس آویشن شیرازی موجب کاهش قابل توجه شمارش کلی باکتری‌ها، اسید لاکتیک باکتری‌ها و کلی‌فرم‌ها با افزایش دوره نگهداری شدند. همچنین تعداد کپک و مخمر در نمونه شاهد نسبت به سایر تیمارها با گذشت زمان افزایش یافت. در حالی که تیمارهای حاوی اسانس در طی ذخیره‌سازی فاقد کپک و مخمر بودند. ارزیابی فیزیکی شیمیایی نشان داد که درصد رطوبت، چربی، pH، در تمامی پنیرهای پوشش داده شده کاهش، اسیدیته و سفتی بافت افزایش یافت. ارزیابی حسی پنیرهای فتای فراپالایش نشان داد که عطر، طعم و مقبولیت کلی پنیرهای پوشش داده شده در مقایسه با پنیر داخل آب نمک بهبود پیدا کرده است، در حالی که در پنیرهای پوشش داده شده حاوی اسانس به دلیل اثر منفی اسانس آویشن شیرازی بر خواص ارگانولپتیکی پنیر، مقبولیت کلی به طور قابل توجهی کمتر شد. جهت ارزیابی اثرات مهارکنندگی تیمارهای مختلف پوشش کامپوزیتی بر جمعیت لیستریا مونوسیژنرهای تلقیحی در پنیر فراپالایش، از آن‌ها فیلم تهیه شد و قدرت بازدارندگی فیلم‌های کامپوزیتی بررسی گردید. نتایج نشان داد که فیلم‌های کامپوزیتی به‌ویژه فیلم‌های حاوی اسانس به‌طور محسوسی جمعیت لیستریا مونوسیژنر را با افزایش دوره نگهداری کاهش دادند. در نتیجه، فیلم‌های کامپوزیتی حاوی نانوذرات و اسانس آویشن می‌تواند در سیستم‌های بسته‌بندی مواد غذایی به‌ویژه برای پنیر فتای فراپالایش به کار گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: اسانس آویشن شیرازی، ایزوله پروتئین آب پنیر، پنیر فتای فراپالایش، پوشش دهی، کیتوزان، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم.

مقدمه

تخمیرکننده لاکتوز هستند. لیستریا مونوسیژنر عامل بیماری لیستریوزیس با مصرف پنیر منتقل می‌شود. لذا رعایت اصول بهداشتی در تولید و بسته‌بندی حائز اهمیت است (Martins et al., 2010). تمایل مصرف‌کنندگان به استفاده از مواد غذایی سالم منجر به ظهور تکنیک‌ها و به‌کارگیری مواد جدید در بسته‌بندی شده است. یکی از این تکنیک‌ها، استفاده از بسته‌بندی های فعال می‌باشد که در این راستا می‌توان به بسته‌بندی فعال حاوی نانوذرات و اسانس‌ها اشاره نمود (Conte et al., 2009). پوشش‌ها یا فیلم‌ها می‌توانند به‌عنوان حامل ترکیبات ضد میکروبی طبیعی باشند که در طی زمان از بسته‌بندی آزاد شوند و نقش موثر خود را ایفا کنند (Del Nobile et al., 2009).

پنیر یکی از فراآورده‌های مهم شیر است که ارزش غذایی خاصی در تغذیه انسان داشته و به سبب شکل، بافت، عطر و طعم متفاوت، جزء متنوع‌ترین فراآورده لبنی محسوب می‌شود (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۷). در حال حاضر تنوع پنیرهای موجود، بالغ بر ۲۰۰۰ نوع برآورد شده که این تعداد نیز رو به افزایش است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از روش‌های نوین تولید پنیر، استفاده از سیستم اولترافیلتراسیون است (Divsalar et al., 2018). این محصول به علت دارا بودن pH پایین توسط میکروارگانیسم‌های نامطلوب به‌ویژه کپک و مخمر آلوده می‌شود. در پنیر سفید فراپالایش، عمده‌ترین میکروارگانیسم‌های آلوده‌کننده شامل کلی‌فرم‌ها، باکتری‌های اسپوردار و مخمرهای

(*) - نویسنده مسئول: Email: hlaskari@gmail.com

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.88681

۱ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سروسن، دانشگاه آزاد اسلامی، سروسن، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد زرین دشت، دانشگاه آزاد اسلامی، زرین دشت، ایران.

(کاشان) و پنیر فتای فراپالایش از شرکت چوپان (تهران) تهیه گردید. هیدروکسید سدیم، اسید کلریدریک، اسید استیک، نتریت آگار و برات و گلیسرول از Sigma (آمریکا) خریداری شد. محیط‌های کشت MRS، M17، پلیت کانت آگار (PCA)، ویولیت‌رد بایل آگار (VRBA)، پوتیتو دکستروز آگار (PCA)، لیستریا سلکتیو آگار (LSA) و بافر پپتون از شرکت Quelab (کانادا) تهیه گردید.

تهیه فیلم

بدین منظور ابتدا محلول ۳ درصد ایزوله پروتئین آب‌پنیر تهیه و به مدت یک شبانه روز آبدار گردید. pH محلول با سود ۲ مولار در ۸ تنظیم و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سلسیوس جهت دناتوراسیون با همزنی آرام حرارت داده و سپس به سرعت سرد شد. محلول ۱٪ درصد کیتوزان نیز با حل کردن کیتوزان در محلول ۲٪ اسید استیک با هم زنی در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت، تهیه گردید. سپس، محلول‌های مادر ایزوله پروتئین آب‌پنیر و کیتوزان آماده شده با نسبت ۷۰:۳۰ (پروتئین به کیتوزان) مخلوط گردیدند. پس از ۱۵ دقیقه هم زده شدن، گلیسرول به مقدار ۳۰ درصد وزنی ماده خشک محلول تشکیل دهنده فیلم اضافه گردیده و TiO_2 به مقدار ۱ و ۲ درصد وزنی ماده خشک افزوده شد. پس از حل شدن کامل (یک ساعت) با همزنی در ۶۰۰ دور بر دقیقه، اسانس آویشن شیرازی به مقدار صفر و ۱ درصد حجمی به محلول‌های تشکیل دهنده اضافه شد. همه محلول‌ها تحت تیمار فراصوت به مدت ۳۰ دقیقه با توان ۱۰۰ وات قرار گرفتند و پس از گازدایی به‌منظور پوشش‌دهی و تهیه فیلم استفاده شدند. برای تهیه فیلم محلول‌ها در آون فیلم خشک‌کن، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۵ درجه خشک شدند. مشروط‌سازی فیلم‌ها در نمک اشباع نیترات منیزیم به مدت ۴۸ ساعت قبل از هرگونه آنالیز انجام گرفت (Pluta-Kubica et al., 2019). فیلم‌های کامپوزیتی شامل ۵ تیمار زیر بودند:

- کنترل (مخلوط ایزوله پروتئین با کیتوزان)
- کنترل + ۱ درصد TiO_2
- کنترل + ۲ درصد TiO_2
- کنترل + ۱ درصد TiO_2 + ۱ درصد اسانس آویشن شیرازی
- کنترل + ۲ درصد TiO_2 + ۱ درصد اسانس آویشن شیرازی

تولید پنیر فتای فراپالایش و پوشش‌دهی آن

نمونه‌های پنیر در کارخانه پنیرسازی چوپان تولید شدند. پس از انجام باکتوفوگاسیون، پاستوریزاسیون (۷۶ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ ثانیه)، اولترافیلتراسیون شیر، هموزیزاسیون (فشار ۷۰ بار) ناتراوه انجام شد. با افزودن استارتر (۱۰ واحد به ازای ۱۰۰۰ لیتر شیر)، pH شیر به سطح ۶/۲ رسانده شد. سپس، رنت (۰/۰۰۴ گرم به ازای ۱۰۰ گرم

پژوهش‌های بسیاری در زمینه استفاده از پوشش‌های خوراکی در پنیر انجام شده است. رضانی و همکاران (۱۳۹۵) تاثیر پوشش خوراکی بر پایه آب پنیر و ناتامایسین را بر کیفیت و ماندگاری پنیر سفید ایرانی بررسی کردند و نشان دادند پوشش حاوی ناتامایسین می‌تواند تا ۶۰ روز از رشد کپک پنی‌سیلیوم کرایزوجنوم تلقیح شده به سطح پنیر جلوگیری نماید. Conte و همکاران (۲۰۰۷) بسته‌بندی فعال حاوی عصاره لیمو را برای افزایش عمر ماندگاری پنیر موزارلا و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و پوشش آلزینات سدیم را در پنیر Fior di latte (۲۰۰۹) بررسی کردند و شاهد افزایش عمر نگهداری پنیر بودند. Di Piero و همکاران (۲۰۱۱) فیلم کیتوزان-پروتئین آب‌پنیر را تحت شرایط اتمسفر اصلاح شده در پنیر ارزیابی کردند و مشاهده کردند جمعیت باکتریایی در نمونه‌های پنیر پوشش داده شده کمتر از نمونه کنترل است. Zhong و همکاران (۲۰۱۴) اثر سه پوشش مختلف (کیتوزان، آلزینات سدیم و ایزوله پروتئین سویا) برای پنیر موزارلا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پنیر پوشش‌دار شده با آلزینات‌سدیم بهترین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی را در طول ذخیره‌سازی داشت. Youssef و همکاران (۲۰۱۵، ۲۰۱۶) در مطالعه خود نانوکامپوزیت‌های بر پایه کیتوزان را در پنیر استفاده کردند و مشاهده کردند نانوکامپوزیت‌ها فعالیت ضد میکروبی خوبی در برابر باکتری‌ها و قارچ‌ها نشان می‌دهند. Meira و همکاران (۲۰۱۶) فیلم‌های نانوکامپوزیتی نشاسته/ هالوئیت/ نیسین را به‌عنوان یک بسته‌بندی ضد میکروبی فعال تولید نموده و تاثیر این نانوکامپوزیت را بر مهار رشد لیستریا مونوسیژنر در پنیر نرم ارزیابی کردند. Artiga-Artigas و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خود از پوشش‌های خوراکی حاوی اسانس پونه در پنیر استفاده کردند. Divsalar و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند فیلم کامپوزیتی کیتوزان- سلولز حاوی نیسین دارای فعالیت ضدباکتریایی است و می‌توان از آن برای بسته‌بندی پنیر استفاده کرد. Lotfi و همکاران (۲۰۱۸) از ترکیب مونولائورین در فیلم کیتوزان/ سلولز برای کنترل رشد لیستریا مونوسیژنر در بسته‌بندی پنیر استفاده کردند.

در این پژوهش اثر پوشش خوراکی کامپوزیتی بر پایه کیتوزان و پروتئین آب‌پنیر حاوی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) و اسانس آویشن شیرازی بر زمان ماندگاری، ویژگی‌های شیمیایی، میکروبی، بافتی و حسی پنیر فتای فراپالایش بررسی گردید. علاوه بر این، تاثیر مهارکنندگی فیلم‌ها بر رشد لیستریا مونوسیژنر نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کیتوزان از Bio Basic (کانادا)، ایزوله پروتئین آب پنیر (WPI) از Hilmar (آمریکا) و تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2) از شرکت Acros (آمریکا) خریداری شد. اسانس آویشن شیرازی از شرکت باریج اسانس

نیروی وارده توسط سل دستگاه ۵۰۰ نیوتن بود. تنش گسیختگی نمونه‌ها از تقسیم نیروی فشاری ثبت شده در نقطه شکستن نمونه بر سطح مقطع نمونه محاسبه و بر حسب نیوتن بیان گردید (Berti et al., 2019).

آزمون حسی

تیمارها به صورت تصادفی کدگذاری و به مدت دو ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند تا به تعادل دمایی برسند. سپس ارزیابی رنگ، عطر، طعم، بافت و مقبولیت کلی نمونه‌های پنیر با استفاده از ۱۲ نفر پانلیست نیمه ماهر و به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۳۷ صورت گرفت. پنیر سفید فرآپالایش داخل آب نمک در طول دوره آزمون به عنوان شاهد به کار گرفته شد.

آزمون ارزیابی مهارکنندگی رشد لیستریا مونوسیژنر در سطح پنیر توسط فیلم‌های کامپوزیتی

تکه‌های پنیر (۱/۷×۲۱×۲۳ میلی‌متر) تحت شرایط آسپتیک بریده شده و سطح بالایی آن‌ها با ۴۰ میکرولیتر لیستریا مونوسیژنر ATCC19115 تلقیح شدند تا تعداد باکتری اولیه حدود ۵/۳ log cfu/g به دست آید. سپس فیلم‌های کامپوزیتی بر سطح پنیر تلقیح شده قرار گرفته و در دمای ۴ درجه سلسیوس ذخیره شدند. نمونه پنیر تلقیح شده بدون فیلم به عنوان شاهد استفاده شد. در فواصل روزهای صفر، ۳، ۸، ۱۱، ۱۴ بعد از برداشتن فیلم‌ها نمونه‌های پنیر در کیسه‌های هضم حاوی آب پپتون استریل ۰/۱ درصد برای ۱/۵ دقیقه هضم شدند و به مدت ۴۸-۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند (Divsalar et al., 2018).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. داده‌ها ابتدا توسط آنالیز واریانس یک طرفه و دو طرفه (ANOVA) مورد بررسی قرار گرفت و سپس از آزمون چند دامنه دانکن برای نشان دادن تفاوت معنی‌داری ($p < 0.05$) بین نمونه‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

شمارش کلی باکتری‌ها

شکل ۱ شمارش کلی باکتری‌ها را در طی ۶۰ روز ذخیره‌سازی پنیر نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس نوع تیمار و زمان تاثیر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر شمارش کلی میکروبی داشت. شمارش کلی با گذر زمان در تمامی تیمارها تا روز ۱۵ افزایش و سپس کاهش یافت. در واقع این افزایش ابتدایی و سپس کاهش می‌تواند مربوط به رهائش

مخلوط) و نمک (۲ گرم به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم ناتراوه) با آب مخلوط شده و به ظرف پنیرسازی اضافه گردید. ناتراوه به تونل انققاد با دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه انتقال داده شد تا لخته تشکیل گردد، سپس به گرمخانه منتقل گردیدند. جهت پوشش دهی، لخته‌ها از گرمخانه خارج و سپس محلول‌های پوششی مورد نظر (همان محلول‌های تولیدی در تهیه فیلم) با استفاده از یک دستگاه اسپری مجهز به تفنگ پاششی بر روی آن‌ها اسپری و بسته‌بندی با فویل آلومینیومی انجام گرفت. در نهایت پنیرها به سردخانه با دمای ۴ درجه سلسیوس منتقل شدند. آزمون‌های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی و حسی در دوره‌های مختلف رسیدن (۳ تا ۶۰ روز) با سه تکرار انجام شدند (Nottagh et al., 2019).

آزمون‌های میکروبی

ارزیابی میکروبی جهت بررسی رشد میکروب‌های آلوده کننده و استارترها صورت گرفت. در همه موارد در نهایت نتایج بر حسب log cfu/g گزارش گردید. تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام پذیرفت. شمارش کلی باکتری‌ها توسط محیط کشت PCA، بر اساس استاندارد شماره ۸۲۴۸ شمارش شدند. شمارش باکتری‌های لاکتوکوکسی در محیط M17 آگار در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت تحت شرایط هوازی مورد استفاده قرار گرفت (Yangilar, 2017). شمارش باکتری‌های لاکتوباسیل در محیط MRS آگار تحت شرایط بی‌هوازی در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت به کار گرفته شد (Soleiman-Rambod et al., 2018). برای شمارش کلی کلی‌فرم‌ها از محیط کشت VRB آگار به صورت کشت پورپلیت با گرمخانه‌گذاری هوازی در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت استفاده شد (Yangilar, 2017). برای شمارش جمعیت کپک و مخمر از روش کشت سطحی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت استفاده شد. محیط کشت PDA اسیدی شده به pH ۳/۵ با محلول ۱۰ درصد استریل اسید لاکتیک برای کشت سطحی مورد استفاده قرار گرفت (Soleiman-Rambod et al., 2018).

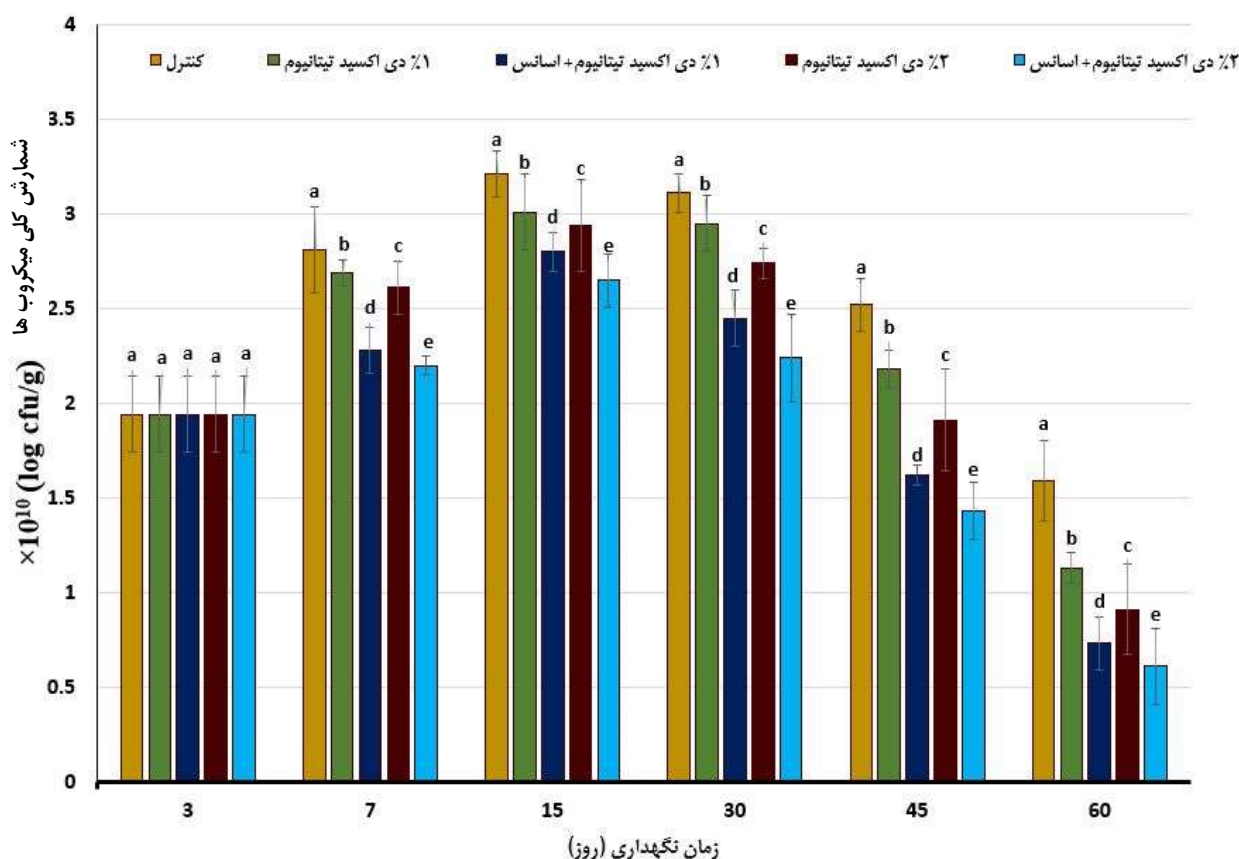
آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

چربی به روش ژربر (استاندارد ملی ایران، شماره ۱۷۶۰۲)، اسیدیته قابل تیتراسیون بر مبنای اسید لاکتیک (وزنی / وزنی)، pH با استفاده از یک pH متر الکترونیک (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۸۵۲)، و درصد رطوبت نیز با استفاده از اون اندازه‌گیری گردیدند (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۷). برای تعیین ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها از دستگاه بافت‌سنج (تستومتریک، انگلیس) استفاده شد. برای این کار قطعه مکعبی از پنیر به ابعاد ۲/۵۴ سانتی‌متر به وسیله پروپ پیستونی به قطر ۴۹ میلی‌متر با سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه تا ۴۰ درصد از ارتفاع اولیه فشرده گردید.

نفوذ ترکیبات ضد میکروبی از پوشش به داخل نمونه پنیر باشد که نیازمند زمان هست (Mushtaq et al., 2018). در کل نتایج شمارش کلی در بین تیمارها بترتیب: نمونه کنترل < ۱٪ وزنی TiO_2 < ۲٪ وزنی TiO_2 < ۱٪ وزنی TiO_2 + اسانس بود. بیشترین شمارش کلی مربوط به تیمار کنترل و کمترین آن مربوط به تیمار حاوی ۲٪ وزنی TiO_2 با اسانس بود. افزایش سطح دی اکسید تیتانیوم در پوشش موجب کاهش شمارش کلی گردید. این مشاهدات مطابق با نتایج به دست آمده توسط Youssef و همکاران (۲۰۱۵) بود که نشان دادند تعداد باکتری‌های پنیر سفید نرم به طور قابل توجهی با پوشش دهی توسط محلول کامپوزیتی کیتوزان/ پلی وینیل الکل حاوی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم کاهش یافته بود. این محققین عنوان نمودند که اثرات ضدباکتریایی این پوشش کامپوزیتی مربوط به نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بوده است.

نتایج همچنین نشان داد که افزودن اسانس به پوشش نانو کامپوزیتی نیز موجب کاهش شمارش کلی باکتری‌ها گردید. همراستا با این نتایج، روشنی و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش نمودند که استفاده از

اسانس آویشن در پنیر موزارلا موجب کاهش شمارش کلی باکتری‌ها در نمونه پنیر گردید. در واقع اثرات ضدباکتریایی اسانس آویشن مربوط به ترکیبات فعال موجود در آن می‌باشد که مهم ترین این ترکیبات ضدباکتریایی عبارتند از تیمول و کارواکرول. این ترکیبات از طریق تجزیه دیواره سلولی، آسیب زدن به غشای سیتوپلاسمی، آسیب زدن به غشا پروتئینی و در نتیجه نشت محتوی سلول به بیرون و انعقاد سیتوپلاسم موجب تخریب باکتری‌ها می‌شوند (Ziaee et al., 2018). نکته قابل توجه اثر سینرژیستیکی است که اسانس و دی اکسید تیتانیوم نشان دادند. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود افزودن اسانس به پوشش حاوی ۱ درصد دی اکسید تیتانیوم تاثیر بازدارندگی بیشتری نسبت به پوشش حاوی ۲ درصد دی اکسید تیتانیوم داشته است. بنابراین می‌توان با افزودن اسانس میزان نانوذرات را در پوشش کاهش داد. در یک تحقیق مشابه Li و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر روغن اسانسی میخک بر خصوصیات فیلم‌های کیتوزان/ نشاسته حاوی نانوذرات تیتانیوم دی اکسید پرداخته و عنوان نمودند که این دو ترکیب دارای اثرات ضد میکروبی سینرژیستیکی بوده‌اند.



شکل ۱- شمارش کلی میکروبی نمونه‌های مختلف پنیر پوشش داده شده در طول دوره نگهداری. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است ($p < 0.05$).

شمارش کپک و مخمر

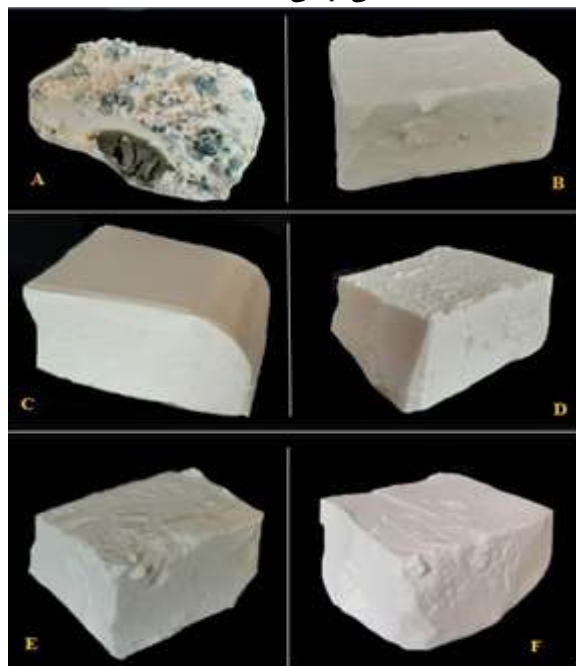
عمده مشکل میکروبی پنیر فراپالایشی، رشد کپک و مخمر در سطح پنیر و تولید لکه‌های رنگی می‌باشد که در صورت مهار رشد کپک و مخمر می‌توان ماندگاری پنیر را به بیش از دو ماه افزایش داد (Nottagh *et al.*, 2018). جدول ۱ جمعیت کپک و مخمر را در طی دو ماه ذخیره‌سازی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، نوع تیمارها و زمان هر دو تاثیر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر جمعیت کپک و مخمر داشتند. در تیمارهای پوششی حاوی اسانس آویشن شیرازی در طول دوره نگهداری آلودگی با کپک و مخمر مشاهده نشد. این مشاهدات می‌تواند به دلیل اثرات ضد میکروبی اسانس آویشن شیرازی باشد. همراستا با این نتایج روشنی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثر ضد میکروبی اسانس آویشن بر پنیر موزارالای نگهداری شده در دمای یخچال پرداخته و گزارش نمودند که در نمونه‌های حاوی اسانس آویشن، رشد کپک‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرد. با این

حال، اولین آلودگی با مخمر در تیمار کنترل و در روز ۱۵ نگهداری مشاهده شد و با گذر زمان افزایش یافت. در تیمارهای پوششی حاوی TiO_2 در روز ۳۰م مخمرها مشاهده شدند و روند افزایشی تا آخر دوره نگهداری داشت. نتایج مشابهی قبلا توسط Pluta-Kubica و همکاران (۲۰۱۹) بر روی پوشش‌دهی پنیر نرم با فیلم خوراکی ترکیبی پروتئین آب‌پنیر/ فورچالرن همراه با عصاره یربامیت و چای گزارش شده است. همچنین گزارش شده است که پوشش دادن پنیر راس با کیتوزان/ پلی‌وینیل الکل حاوی نانوذرات TiO_2 باعث کاهش رشد کپک در سطح پنیر می‌شود (Youssef و همکاران، ۲۰۱۹). نانوذرات TiO_2 با تخریب دیواره سلولی باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا دارای عملکرد ضد میکروبی هستند (Youssef *et al.*, 2015). در هیچ‌کدام از تیمارهای پوششی کپک و مخمر در سطح پنیر مشاهده نگردید و همه تیمارهای پوششی در آخر دوره نگهداری از ظاهر قابل قبولی برخوردار بودند (شکل ۲).

جدول ۱- شمارش کپک و مخمر نمونه‌های پوششی داده شده در طول دوره نگهداری ۶۰ روزه ($\times 10^2 \text{cfu/g}$)

تیمار	۳	۷	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰
کنترل	.aA	.aA	$1/12 \pm 0/13^{bB}$	$2/5 \pm 1/1^cC$	$4/3 \pm 1/2^{cD}$	$5/1 \pm 0/4^{cE}$
۱٪ TiO_2	.aA	.aA	.aA	$0/9 \pm 0/2^{bB}$	$1/45 \pm 0/15^{bC}$	$2/2 \pm 0/3^{bD}$
اسانس ۱٪ TiO_2	.aA	.aA	.aA	.aA	.aA	.aA
۲٪ TiO_2	.aA	.aA	.aA	$0/76 \pm 0/31^{bB}$	$1/5 \pm 0/35^{bC}$	$2/0 \pm 0/4^{bD}$
اسانس ۲٪ TiO_2	.aA	.aA	.aA	.aA	.aA	.aA

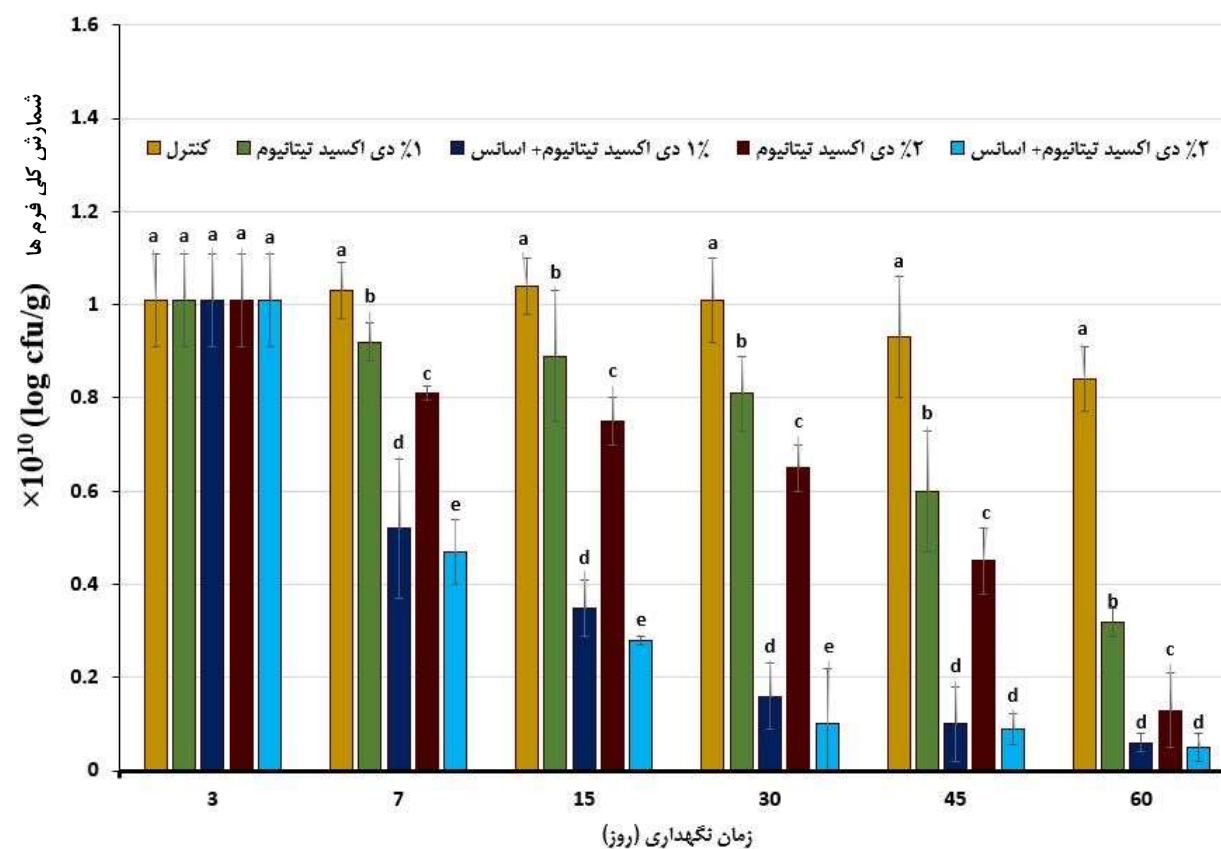
میانگین‌های دارای حروف مشترک کوچک در هر ستون و میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ در هر ردیف در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.



شکل ۲- ظاهر پنیرهای پوششی داده نشده (A)، پوشش داده شده با محلول کامپوزیتی: کنترل (B)، حاوی ۱٪ TiO_2 (C)، ۱٪ وزنی TiO_2 با اسانس (D)، ۲٪ وزنی TiO_2 (E) و ۲٪ وزنی TiO_2 با اسانس (F) در آخر دوره ۶۰ روزه نگهداری در دمای یخچال (۴ درجه سلسیوس).

جمعیت کلی فرم

تاثیر پوشش دهی پنیرهای فرابالایش بر تعداد کلی فرم در طی ۶۰ روز نگهداری در دمای یخچال در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود نوع تیمار پوششی و زمان، تاثیر معنی داری در جمعیت کلی فرم پنیرهای پوشش داده شده داشت. در تیمار کنترل پس از پوشش دهی جمعیت کلی فرم تا روز ۱۵ اندکی افزایش سپس روند کاهشی در پیش گرفت. در تیمارهای پوششی حاوی نانوذرات TiO_2 در سطح ۱٪ و ۲٪ وزنی به طور معنی داری ($p < 0.05$) پس از پوشش دهی جمعیت کلونی کلی فرم به تدریج کاهش یافت. بین تیمارهای پوششی (حاوی ۱ و ۲٪ نانوذرات) نیز در کل دوره نگهداری تفاوت معنی داری وجود داشت. بدین صورت که تیمار پوششی حاوی ۲٪



شکل ۳- جمعیت کلی فرمی پنیرهای سفید فرابالایش پوشش داده شده با تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس. حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار است ($p < 0.05$).

کنترل < TiO_2 ۱٪ < TiO_2 ۱٪ با اسانس < TiO_2 ۲٪ < تیمار حاوی TiO_2 و اسانس.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد افزودن نانوذرات TiO_2 و اسانس آویشن شیرازی اثر باز دارندگی بر روی میکروفلور استارتر پنیر دارد. این بدان معنی است که اثر بازدارندگی اسانس ها در مقایسه با نانوذرات TiO_2 به مقدار قابل توجهی بیشتر است. Mushtaq و

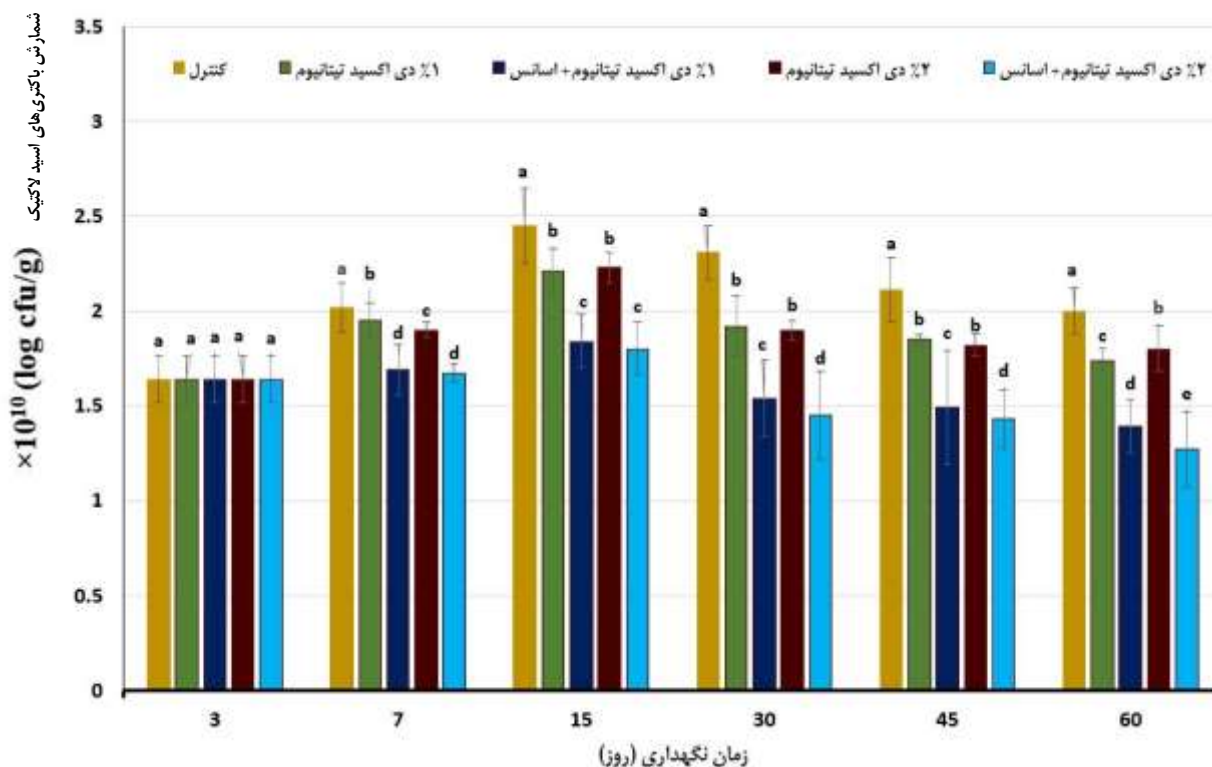
جمعیت اسید لاکتیک باکتری ها (استارترها)

شکل ۴ نتایج تاثیر پوشش های خوراکی مختلف را بر روی جمعیت استارتر را نشان می دهد. نتایج نشان داد که تاثیر تیمار و زمان بر جمعیت استارتر معنی دار بوده است. تا روز ۱۵ نگهداری جمعیت استارتر روند افزایشی و سپس تا آخر دوره نگهداری روند کاهشی داشت. در کل دوره نگهداری جمعیت اسید لاکتیک باکتری ها به ترتیب زیر بود: نمونه

لذا حفظ جمعیت آن‌ها در سطح مطلوب در پنیر الزامی است و با توجه به عطر و طعم ضعیف پنیر فرابالایشی، حفظ جمعیت اسید لاکتیک باکتری‌ها با تفاوت محسوس بین تیمارهای پوششی مزیت بالقوه‌ای محسوب می‌گردد.

همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند افزودن عصاره پوست انار در فیلم زئین تفاوت معنی‌داری در جمعیت استارتر پنیرهای هیمالیایی پوشش داده شده ایجاد کرد.

یکی از عوامل موثر در رسیدن پنیر، باکتری‌های اسیدلاکتیک هستند که باعث ایجاد بافت، طعم و کیفیت مناسب در پنیر می‌شوند.



شکل ۴- جمعیت باکتری‌های اسید لاکتیک پنیرهای سفید فرابالایش پوشش داده شده با تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس.

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار است ($p < 0.05$).

سریع‌تر بوده و در ادامه این تغییرات با شدت کمتری اتفاق می‌افتد (Nottagh et al., 2019). نتایج تحقیق جمشیدی و همکاران (۱۳۹۷)، Ramos و همکاران (۲۰۱۲) و Youssef و همکاران (۲۰۱۵، ۲۰۱۶) در توافق با نتایج این پژوهش است.

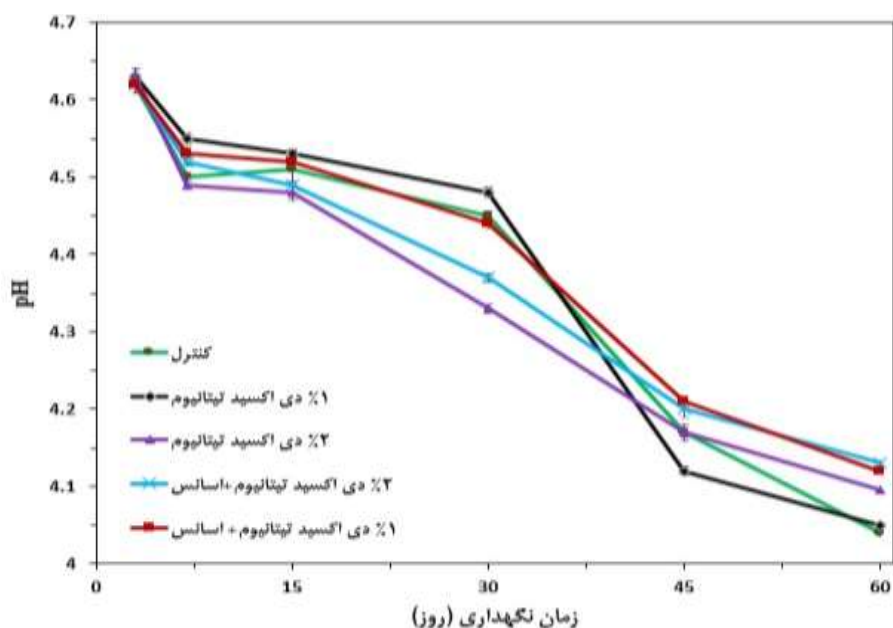
اسیدیته

تغییرات اسیدیته پنیرهای پوشش داده شده در شکل ۶ نشان داده شده است. به وضوح دیده می‌شود که اسیدیته با گذشت زمان در همه تیمارهای پوششی افزایش یافت. افزایش اسیدیته تا روز ۳۰ام با شیب بیشتری افزایش می‌باید و با گذشت زمان نگهداری از سرعت اسید تولیدی کاسته شده است. اسیدیته در تیمارهای حاوی ۱ و ۲٪ TiO_2 در مقایسه با سایر تیمارهای پوششی تا یک ماه اول نگهداری به صورت معنی‌داری بیشتری بود.

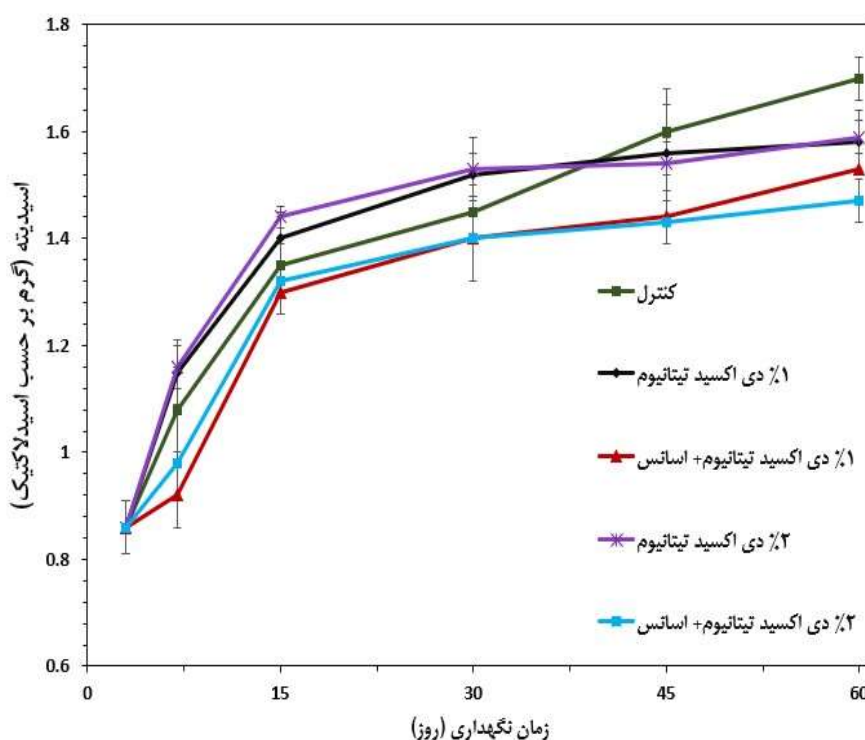
pH

شکل ۵ تاثیر پوشش‌های مختلف را بر pH پنیر در طول ۶۰ روز نگهداری نشان می‌دهد. pH تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان ($p < 0.05$) کاهش یافت. بیشترین مقدار کاهش مربوط به نمونه کنترل بود. این امر می‌تواند به دلیل خروج رطوبت بیشتر از نمونه کنترل نسبت به سایر نمونه‌ها باشد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که بین تیمارهای کنترل و تیمارهای حاوی ۱ و ۲٪ وزنی TiO_2 و ترکیب آن‌ها با اسانس آویشن شیرازی اختلاف معنی‌داری وجود داشت و این اختلاف نسبت به روزهای اول نگهداری به صورت ویژه‌ای بین تیمارها افزایش یافت. ولی در آخر دوره نگهداری بین تیمار پوششی حاوی ۱٪ نانوذرات TiO_2 و تیمار کنترل تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p < 0.05$).

در طول فرایند تولید پنیر به دلیل فعالیت استارترها و تولید اسید به‌ویژه در روزهای نخست نگهداری در دماهای بالا جهت رسیدن محصول، شاهد افت pH خواهیم بود که این کاهش در روزهای نخست



شکل ۵- مقادیر pH پنی‌های سفید فراپالایش پوشش داده شده با تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس.

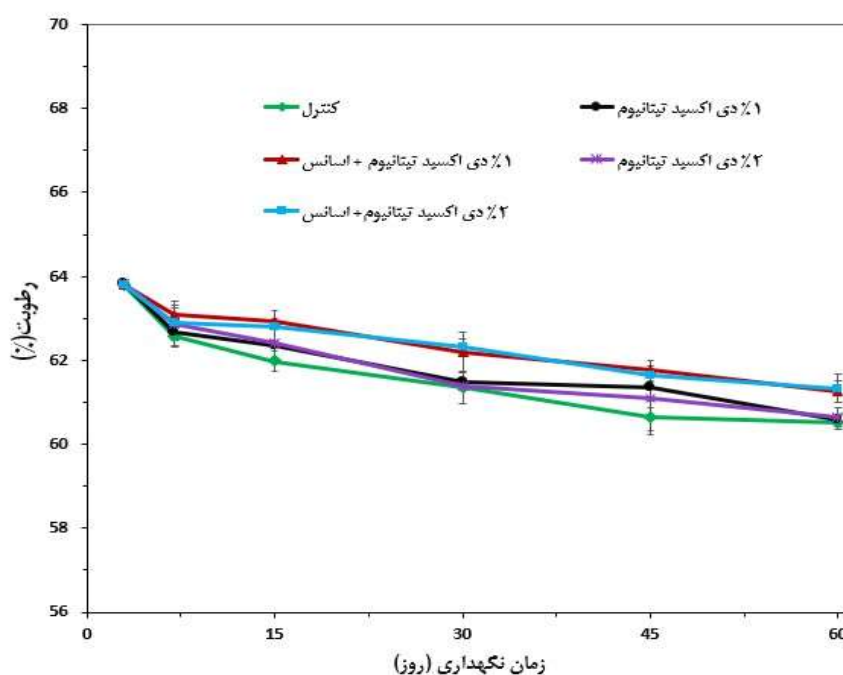


شکل ۶- مقادیر اسیدیته پنی‌های سفید فراپالایش پوشش داده شده با تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس.

همان‌طور که قبلاً مشاهده گردید بعد از پوشش‌دهی، جمعیت باکتری‌های اسید لاکتیک تا روز ۱۵ نگهداری با سرعت بیشتر افزایش یافت که مطابق با روند افزایش اسیدیته بود. این امر می‌تواند به دلیل تولید بیشتر اسید لاکتیک در نتیجه افزایش جمعیت باکتری‌های

میزان اسیدیته در تیمار کنترل در تمامی دوره نگهداری افزایش معنی‌داری نشان داد. علاوه بر این، از روز ۳۰ ام به بعد تفاوت قابل توجهی در اسیدیته تیمارهای حاوی ۱ و ۲٪ نانوذرات TiO₂ و تیمار حاوی ۲٪ نانوذرات و اسانس مشاهده نگردید.

TiO₂ ترکیب شده در سطح ۱ و ۲٪ وزنی با اسانس آویشن شیرازی در مقایسه با دیگر تیمارها به مقدار کمتری رخ داد. با گذشت زمان نگهداری بین تیمارهای حاوی اسانس و پنیرهای پوشش داده شده با تیمارهای حاوی نانوذرات TiO₂ و کنترل اختلاف معنی داری ($p < 0.05$) وجود دارد. این امر احتمالاً به خاصیت آبریزی اسانس نسبت به سایر ترکیبات موجود در تیمارهای پوششی مربوط می شود. به طور کلی، نتایج نشان داد که پوشش دهی پنیر در طول دوره ذخیره سازی باعث حفظ بهتر رطوبت می گردد. زیرا پوشش های خوراکی بر پایه کیتوزان و ایزوله پروتئین آب پنیر به دلیل ماهیت آبدوستی می توانند مولکول های آب را از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی جذب و از دست دادن آب را کاهش دهند (Nottagh et al., 2019). مطابق با این نتایج Youssef و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که با افزایش نانوذرات TiO₂ در پوشش دهی پنیر راس میزان کاهش رطوبت در پنیر به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین گزارش شده است که افزودن اسانس رزماری و پونه کوهی در ترکیب فرمولاسیون پوششی ناتامایسین، کاهش محتوای رطوبت پنیر کاش را به تاخیر می اندازد (Yangilar, 2017). نتایج مشابهی در مطالعه قره محمدلو و همکاران (۱۳۹۶) بر تاثیر پوشش خوراکی بر پایه پروتئین آب پنیر حاوی نیسین روی ماندگاری پنیر سفید نمکی به دست آمد و بیان داشتند پوشش دهی باعث حفظ بهتر رطوبت در پنیر شده است.



شکل ۷- محتوای رطوبتی پنیرهای سفید فرالایش پوشش داده شده با تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس.

($p < 0.05$) بر مقدار چربی تیمارهای پنیر داشتند. با گذشت زمان در طی دوره رسیدگی مقدار چربی در همه تیمارهای پوششی به تدریج و با شیب کمتری کاهش پیدا کرد. در پایان دوره نمونه برداری بین همه

تولیدکننده اسیدلاکتیک باشد (Diperrio, 2019). همکاران (۲۰۱۱) اسیدیته را در پنیر ریکوتا پوششی بر پایه پروتئین آب پنیر و کیتوزان اندازه گیری کردند و بیان کردند که افزایش اسیدیته احتمالاً بخاطر تولید اسیدهای آلی است که عمدتاً باکتری های اسید لاکتیک تولیدکننده آن هستند که جمعیت آن ها در طول ذخیره سازی افزایش می یابد. Yilmaz و Dagdemir (۲۰۱۲) به نتایج مشابهی در مورد افزایش اسیدیته پنیر کاشار پس از پوشش دهی دست یافتند که احتمالاً به دلیل انباشتگی محصولات تجزیه لاکتوز مثل اسیدلاکتیک و سایر اسیدهای فرار بود. همچنین Youssef و همکاران (۲۰۱۵)، گزارش کردند که پس از پوشش دهی پنیر به طور قابل توجهی اسیدیته افزایش و pH کاهش یافته بود

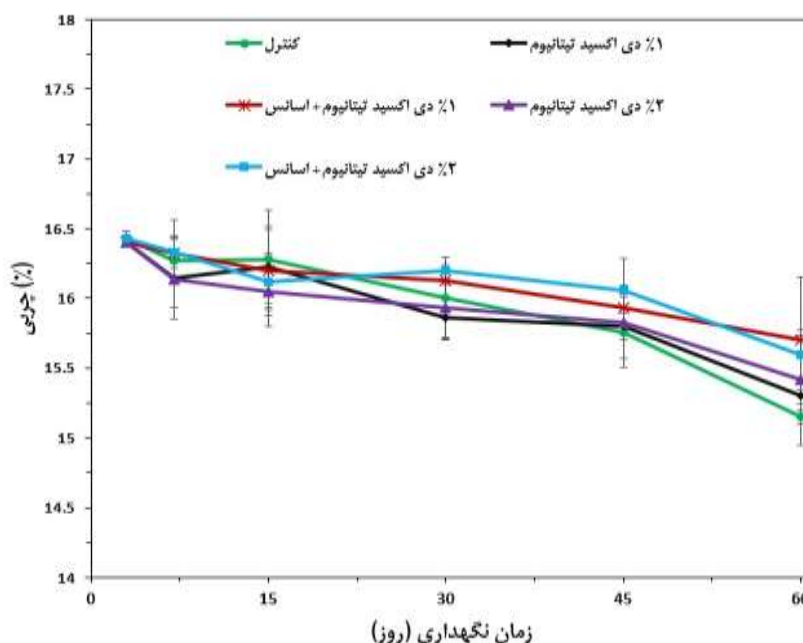
رطوبت

نتایج حاصل از تغییرات رطوبت در طی دوره رسیدگی پنیرهای سفید فرالایش پوشش داده شده در شکل ۷ آورده شده است. در تمامی نمونه ها با گذشت زمان محتوای رطوبت افت کرده است که به دلیل مهاجرت پیوسته آب به محیط اطراف است (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۷). این پدیده در ابتدای دوره نگهداری با شدت بیشتری صورت می گیرد. همچنین کاهش رطوبت در تیمارهای پوششی حاوی نانوذرات

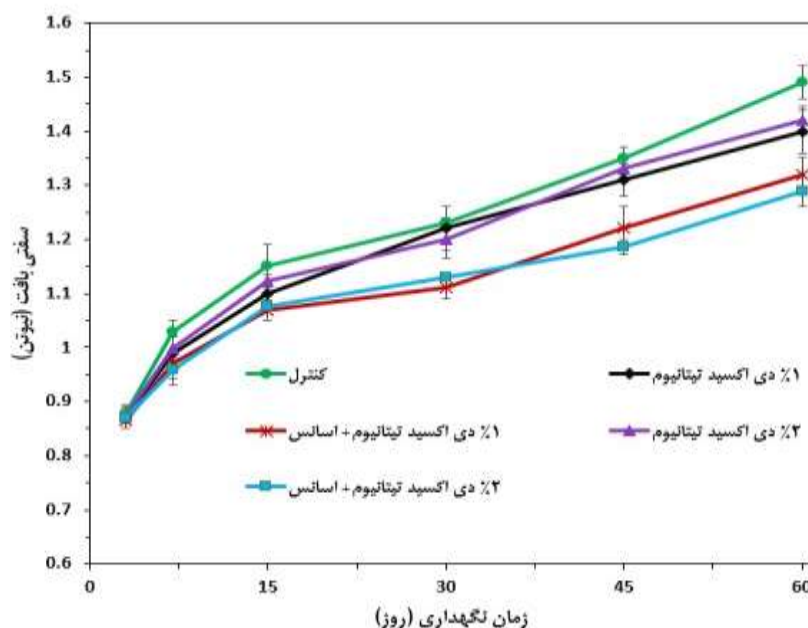
چربی

نتایج تغییرات چربی نمونه های پنیر در طول دوره رسیدگی در شکل ۸ نشان داده شده است. نوع تیمار و زمان هر دو تاثیر معنی دار

تیمارهای پوشش‌دار از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین کاهش چربی در تیمار کنترل و کمترین میزان کاهش چربی در تیمار حاوی ۱٪ TiO_2 ترکیب شده با اسانس آویشن شیرازی مشاهده شد.



شکل ۸- محتوای رطوبتی پنیرهای سفید فراپالایش پوشش داده شده با تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس.

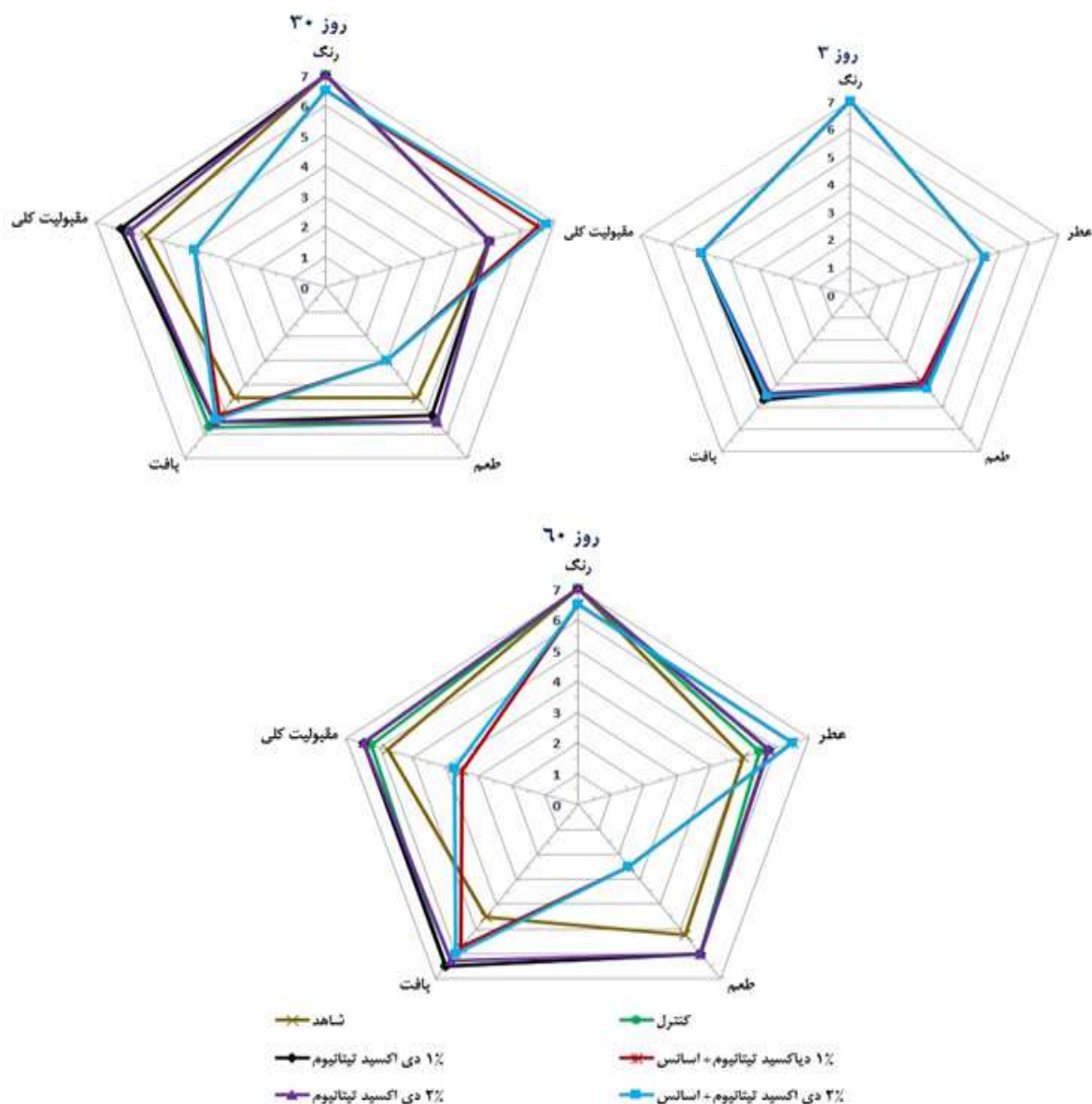


شکل ۹- میزان سفتی بافت پنیرهای سفید فراپالایش پوشش داده شده با تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس.

لیپازهای طبیعی پنیر و لیپازهای تولید شده توسط باکتری‌های اسیدلاکتیکی و غیرلاکتیکی و سایکروتروف‌ها نسبت داده شود (Soleimani-Rambod *et al.*, 2018) بنابراین تفاوت در درصد چربی می‌تواند به اختلاف در رشد باکتری‌های اسید لاکتیک و لیپولیز انجام شده در تیمارهای مختلف نسبت داده شود. کاهش درصد چربی مطابق

با این حال بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و درصد چربی از حدود ۱۶٪ در روز سوم به ۱۴٪ در پایان دوره نگهداری رسیده بود. تیمارهای پوششی توانستند تا حد زیادی درصد چربی را در پنیر سفید فراپالایش حفظ کنند. کاهش چربی پنیرهای سفید فراپالایش می‌تواند به هیدرولیز چربی پنیر در طی دوره رسیدن پنیر به دلیل

با نتایج قره محمدلو و همکاران (۱۳۹۶) و رضانی و همکاران (۱۳۹۵) بود.



شکل ۱۰- ارزیابی حسی پنیرهای سفید فراپالایش پوشش داده شده با تیمارهای مختلف در روزهای ۳، ۳۰ و ۶۰ دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس؛ پنیر داخل آب نمک به عنوان شاهد استفاده شد.

ارزیابی بافت

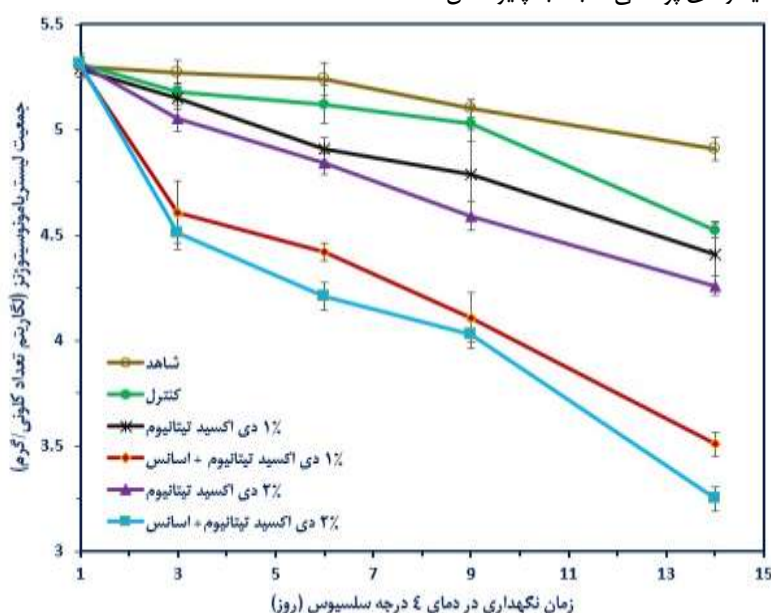
بافت یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی پنیر است. شکل ۹ تغییرات سفتی بافت نمونه‌های پنیر فراپالایش را در طول دوره رسیدگی نشان می‌دهد. نتایج حاکی از تاثیر معنی‌دار ($p < 0.05$) نوع تیمار و زمان بر سفتی بافت است. با گذشت زمان اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کنترل و تیمارهای حاوی ۱ و ۲٪ دی اکسید تیتانیوم با تیمارهای حاوی اسانس مشاهده شد. تیمار کنترل بیشترین سفتی و تیمارهای حاوی

اسانس به دلیل حفظ بیشتر رطوبت کمترین سفتی را داشتند. در بین تیمارهای پوششی، سفتی در طول دوره رسیدن افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل کاهش محتوای رطوبت باشد. روند تغییرات سفتی نمونه‌های پوششی حاوی اسانس مشابه و افزایشی بود. تیمارهای پوششی کنترل و تیمارهای حاوی نانوذرات TiO_2 نیز روند افزایشی مشابه داشتند. هرچند تیمار کنترل سفتی بیشتری داشت. به طور کلی، افزایش یا کاهش سفتی بافت ارتباط مستقیمی با میزان رطوبت

آب نمک افزایش یافته است و امتیاز بالاتری را کسب کردند. با توجه به این که نرمی بافت پنیرهای سفید فراپالایش یکی از مشکلات مربوط به آن‌ها است، این ارزیابی نشان داد که تا حد زیادی از نرمی بافت کاسته شده و پذیرش آن توسط مصرف‌کننده افزایش پیدا کرده است. به‌طور کلی، می‌توان از نتایج ارزیابی حسی استنباط کرد که تیمارهای حاوی نانوذرات TiO_2 و تیمار کنترل بالاترین امتیازات ممکن را توسط ارزیاب‌ها کسب نمودند. این نتایج در توافق با یافته‌های Conte و همکاران (۲۰۰۹)، Ramos و همکاران (۲۰۱۲)، Nottagh و همکاران (۲۰۰۹)، Delnobile و همکاران (۲۰۰۹)، و قره محمدلو (۱۳۹۵) است. این محققان بیان کردند که فرایند پوشش‌دهی باعث بهبود خواص حسی (بو، طعم، بافت، رنگ و مقبولیت کلی) پنیر شده است. در کل بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی حسی میتوان امید داشت که بتوان در عین استفاده از پوشش‌های خوراکی بر پایه پروتئین آب پنیر و کیتوزان حاوی نانوذرات تیتانیوم اکسید و اسانس آویشن شیرازی در پنیر، خواص حسی محصول را در حد نرمال خود حفظ کرده و از خواص ضد میکروبی این ترکیبات به‌طور مطلوب استفاده کرد.

مهار رشد لیستریا مونوسیژنوز در سطح پنیر فتای فراپالایش

اثرات مهارتی فیلم‌های کامپوزیتی بر جمعیت لیستریا مونوسیژنوزهای تلقیحی در پنیر فراپالایش در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- ارزیابی مهارت رشد پاتوژن لیستریا مونوسیژنوز در سطح پنیرهای سفید فراپالایش با کاربرد فیلم‌های کامپوزیتی مختلف تا ۱۴ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس؛ پنیر بدون کاربرد فیلم در سطح به‌عنوان شاهد استفاده شد.

نمونه‌های پنیر پوشش‌داده شده دارد که مطابق با تحقیقات Nottagh و همکاران (۲۰۱۹)، Youssef و همکاران (۲۰۱۶، ۲۰۱۹)، Ramos و همکاران (۲۰۱۲)، Wang و همکاران (۲۰۱۹) و Berti و همکاران (۲۰۱۹) در مورد پوشش‌دهی پنیرهای مختلف با بیوپلیمرهای خوراکی بود.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی پنیرهای فراپالایش پوشش داده شده در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که پنیرهای پوشش داده شده رنگ و ظاهر مطلوب خود را در کل دوره ذخیره‌سازی حفظ کردند و فقط تیمارهای پوششی حاوی اسانس به دلیل رنگ جزئی زرد در شاخص رنگ دچار افت گردیدند، اما اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. تیمارهای حاوی ترکیب اسانس و نانوذرات باعث افزایش قابل توجه عطر و بو در مقایسه با سایر تیمارها شدند که به علت بوی طبیعی و مطلوب اسانس آویشن شیرازی می‌باشد. روشنی و همکاران (۱۳۹۴) نیز همراستا با این نتایج، عطر و بوی بسیار خوبی را برای پنیرهای موزارلای حاوی اسانس آویشن گزارش نمودند. ارزیابی طعم پنیرها نشان داد که پنیرهای حاوی اسانس دارای طعم تند نامطلوب بودند که خواص ارگانولپتیکی آن را به حد قابل توجهی کاهش داده بود. با گذشت زمان طعم تیمارهای حاوی نانوذرات و تیمار کنترل به‌طور قابل توجهی نسبت به پنیر داخل آب نمک و به خصوص تیمارهای حاوی ترکیب TiO_2 -اسانس افزایش یافته بود. ارزیابی بافت پنیرها نشان داد که با گذشت زمان، مقبولیت بافت تمام تیمارهای پوششی نسبت به پنیر داخل

کامپوزیتی به دلیل حضور کیتوزان و نانوذرات TiO_2 و به خصوص اسانس آویشن شیرازی به‌عنوان یک عامل ضد میکروبی می‌تواند در جهت ممانعت از شیوع و گسترش لیستریوز در سطح پنیرهای سفید فراپالایش به‌کاربرده شوند

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که فیلم‌های کامپوزیتی به دلیل خاصیت ضد میکروبی کیتوزان و نانوذرات TiO_2 و به‌ویژه اسانس می‌توانند به‌طور قابل ملاحظه‌ای رشد لیستریا موسیتوزن را در سطح پنیر سفید فراپالایش مهار کنند. تیمارهای پوششی مختلف علیرغم کاهش جمعیت استارتر نسبت به تیمار پوششی کنترل تاثیر منفی در جمعیت استارترها نداشته و باعث حفظ استارترها در پنیرهای فراپالایش شدند. افزودن ۲٪ وزنی نانوذرات TiO_2 نسبت به ۱٪ وزنی باعث کنترل بهتر کپک و مخمر در سطح پنیر نسبت به تیمار کنترل گردید، در حالیکه تیمارهای حاوی اسانس هیچ‌گونه کپک و مخمری را در طول دوره ذخیره‌سازی نشان ندادند. افزایش درصد نانوذرات TiO_2 از ۱ به ۲٪ و ترکیب کردن آن‌ها با اسانس کاهش معنی‌داری را در کلی‌فرم‌ها نسبت به تیمار کنترل ایجاد کرد. کاهش pH و افزایش اسیدیته در همه تیمارهای پوششی اتفاق افتاد که می‌تواند از این طریق موجب افزایش عمر ماندگاری و ممانعت از رشد پاتوژن‌ها در پنیرهای فتای فراپالایش شود. کاهش رطوبت و چربی در تیمارهای پوششی با افزایش زمان ماندگاری به دلیل آب‌اندازی و لیپولیز چربی اتفاق افتاد. پوشش دهی باعث بهبود بافت پنیر شد که با توجه به بافت بسیار نرم پنیر سفید فراپالایشی، پوشش‌دهی به‌عنوان روش آسان، ارزان و موثر می‌تواند گامی در جهت بهبود بافت باشد. بنابراین فیلم‌ها و پوشش‌های کامپوزیتی حاوی نانوذرات TiO_2 و اسانس آویشن شیرازی می‌تواند در بسته‌بندی و پوشش‌دهی پنیر فتای فراپالایش جهت افزایش کیفیت، ایمنی و افزایش عمر ماندگاری آن استفاده شود.

نتایج نشان داد که زمان و نوع فیلم کامپوزیتی هر دو تاثیر معنی‌دار ($p < 0.05$) در جمعیت باکتری‌های لیستریا موسیتوزن داشتند. در همه پنیرهای تلقیحی پوشش داده شده و نشده، جمعیت لیستریا موسیتوزن تا روز ۱۴ام کاهش یافت. فیلم‌های حاوی اسانس کاهش قابل ملاحظه‌ای در تعداد باکتری‌ها را در روز سوم نشان دادند به‌طوری که جمعیت باکتری پس از به‌کارگیری فیلم‌های کامپوزیتی حاوی نانوذرات دی-اکسید تیتانیوم در ترکیب با اسانس آویشن شیرازی از $5/3 \log cfu/g$ به ترتیب به $4/61 \log cfu/g$ و $4/48 \log cfu/g$ کاهش پیدا کرد. کاهش در جمعیت باکتریایی پنیرهای که با فیلم‌های کامپوزیتی پوشش داده شده بودند با سرعت بیشتری نسبت به تیمار شاهد انجام گرفت، به نحوی که در پایان دوره آزمون جمعیت لیستریا موسیتوزن در فیلم‌های کامپوزیتی حاوی اسانس آویشن شیرازی برابر بین $3/51 - 3/25$ بود. کاهش تعداد باکتری‌ها در همه تیمارها به تولیدمثل میکروارگانیسم‌ها در دمای پایین نسبت داده می‌شود. این پدیده به دلیل سنتز پروتئین‌های سازگار با سرما در باکتری‌های سایکروتروف در دمای پایین اتفاق می‌افتد که بار کلی را کاهش می‌دهد (Divsalar et al., 2018). هم راستا با این نتایج Divsalar و همکاران (۲۰۱۸) و Lotfi و همکاران (۲۰۱۸)؛ بیان کردند که پوشش‌دهی پنیر فراپالایش باعث کاهش قابل توجهی در جمعیت باکتری‌های لیستریا موسیتوزن می‌شود.

در کل این نتایج بیانگر این موضوع بود که بالاترین رشد لیستریا در نمونه کنترل بوده و کمترین میزان رشد لیستریا نیز در نمونه پوشش داده شده در حضور ۲ درصد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس آویشن شیرازی بوده است. همچنین نتایج نشان داد که افزایش درصد تیتانیوم اکسید نیز می‌تواند باعث کاهش رشد لیستریا در نمونه های پنیر گردد. بنابراین می‌توان گفت که نانوذرات تیتانیوم اکسید و اسانس آویشن شیرازی دارای اثرات هم‌افزایی بوده و در حضور هر دوی این ماده ها، رشد لیستریا بیشتر کنترل گردیده است. به‌طور کلی، نتایج حاصل از ارزیابی قابلیت فیلم‌های کامپوزیتی در مهار رشد لیستریا موسیتوزن در سطح پنیر تاییدکننده این موضوع بود که فیلم‌های

منابع

- استاندارد ملی ایران. ۱۳۸۵. شیر و فراورده های آن - تعیین اسیدیته و pH روش آزمون. شماره ۲۸۵۲.
- استاندارد ملی ایران. ۱۳۹۳. محصولات پنیر و پنیر فراوری شده - اندازه گیری میزان چربی - روش وزن سنجی (روش آزمون مرجع). شماره ۱۷۶۰۲.
- استاندارد ملی ایران. ۱۳۷۸. روش ارزیابی حسی بستنی. شماره ۴۹۳۷.
- جمشیدی ف. رحیمی س. فدائی نوغانی و. (۱۳۹۷). مطالعه اثر فیلم خوراکی ژل آلونته ورا - صمغ فارسی بر ویژگی‌های پنیر سفید ایرانی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۱۳ (۱): ۶۳-۷۴.
- رضائی ا. جلیل زاده ع. حصاری ج. (۱۳۹۵). تاثیر پوشش خوراکی بر پایه پروتئین آب پنیر و ناتامایسین بر کیفیت و ماندگاری پنیر سفید ایرانی. نشریه حوزه سلامت و بهداشت مواد غذایی، ۲۳: ۱۲-۱.

- روشنی س. گوهری اردبیلی ا. آریان فر ا. (۱۳۹۴). بررسی اثر آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی اسانس آویشن بر پنیر موزارالای نگهداری شده در دمای یخچال. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۳: ۲۳۳-۲۴۶.
- قره محمدلو ا. جلیل زاده ع. حصاری ج. (۱۳۹۵). تاثیر پوشش خوراکی بر پایه کنسانتره پروتئین آب پنیر حاوی نیسین روی ماندگاری پنیر سفید آب نمکی. مجله علوم و صنایع غذایی، ۱۴ (۶۶): ۲۶۹-۲۶۱.
- Artiga-Artigas, M., Acevedo-Fani, A. & Martín-Belloso, O., 2017, Improving the shelf life of low-fat cut cheese using nanoemulsion-based edible coatings containing oregano essential oil and mandarin fiber. *Food Control*, 76, 1-12.
- Berti, S., Resa, C. P. O., Basanta, F., Gerschenson, L. N. & Jagus, R. J., 2019, Edible coatings on Gouda cheese as a barrier against external contamination during ripening. *Food Bioscience*, 31, 100447.
- Cano Embuena, A. I., Cháfer Nácher, M., Chiralt Boix, A., Molina Pons, M. P., Borrás Llopis, M., Beltran Martínez, M. C. & González Martínez, C., 2017, Quality of goat's milk cheese as affected by coating with edible chitosan-essential oil films. *International Journal of Dairy Technology*, 70(1), 68-76.
- Conte, A., Gammariello, D., Di Giulio, S., Attanasio, M. & Del Nobile, M. A., 2009, Active coating and modified-atmosphere packaging to extend the shelf life of Fior di Latte cheese. *Journal of Dairy Science*, 92(3), 887-894.
- Conte, A., Scrocco, C., Sinigaglia, M. & Del Nobile, M. A., 2007, Innovative active packaging systems to prolong the shelf life of mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 90(5), 2126-2131.
- Del Nobile, M. A., Gammariello, D., Conte, A. & Attanasio, M., 2009, A combination of chitosan, coating and modified atmosphere packaging for prolonging Fior di latte cheese shelf life. *Carbohydrate polymers*, 78(1), 151-156.
- Di Pierro, P., Sorrentino, A., Mariniello, L., Giosafatto, C. V. L. & Porta, R., 2011, Chitosan/ whey protein film as active coating to extend Ricotta cheese shelf-life. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2324-2327.
- Divsalar, E., Tajik, H., Moradi, M., Forough, M., Lotfi, M. & Kuswandi, B., 2018, Characterization of cellulosic paper coated with chitosan-zinc oxide nanocomposite containing nisin and its application in packaging of UF cheese. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1311-1318.
- Gammariello, D., Di Giulio, S., Conte, A. & Del Nobile, M. A., 2008, Effects of natural compounds on microbial safety and sensory quality of Fior di Latte cheese, a typical Italian cheese. *Journal of Dairy Science*, 91(11), 4138-4146.
- Hannon, J. A., Lopez, C., Madec, M. N. & Lortal, S., 2006, Altering renneting pH changes microstructure, cell distribution, and lysis of *Lactococcus lactis* AM2 in cheese made from ultrafiltered milk. *Journal of Dairy Science*, 89(3), 812-823.
- Li, W., Zheng, K., Chen, H., Feng, S., Wang, W. & Qin, C., 2019, Influence of nano titanium dioxide and clove oil on chitosan-starch film characteristics. *Polymers*, 11(9), 1418.
- Lotfi, M., Tajik, H., Moradi, M., Forough, M., Divsalar, E. & Kuswandi, B., 2018, Nanostructured chitosan/monolaurin film: Preparation, characterization and antimicrobial activity against *Listeria monocytogenes* on ultrafiltered white cheese. *LWT- Food Science and Technology*, 92, 576-583.
- Martins, J. T., Cerqueira, M. A., Souza, B. W., Carmo Avides, M. D. & Vicente, A. A., 2010, Shelf life extension of ricotta cheese using coatings of galactomannans from nonconventional sources incorporating nisin against *Listeria monocytogenes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(3), 1884-1891.
- Meira, S. M. M., Zehetmeyer, G., Scheibel, J. M., Werner, J. O. & Brandelli, A., 2016, Starch-halloysite nanocomposites containing nisin: Characterization and inhibition of *Listeria monocytogenes* in soft cheese. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 226-234.
- Mushtaq, M., Gani, A., Gani, A., Punoo, H. A. & Masoodi, F. A., 2018, Use of pomegranate peel extract incorporated zein film with improved properties for prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/kradi). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 25-32.
- Nottagh, S., Hesari, J., Peighambaroust, S. H., Rezaei-Mokarram, R. & Jafarizadeh-Malmiri, H., 2019, Effectiveness of edible coating based on chitosan and Natamycin on biological, physico-chemical and organoleptic attributes of Iranian ultra-filtrated cheese. *Biologia*, 75(4), 605-611.
- Nottagh, S., Hesari, J., Peighambaroust, S. H., Rezaei-Mokarram, R. & Jafarizadeh-Malmiri, H., 2018, Development of a biodegradable coating formulation based on the biological characteristics of the Iranian Ultra-filtrated cheese. *Biologia*, 73(4), 403-413.
- Pluta-Kubica, A., Jamróz, E., Kawecka, A., Juszczak, L. & Krzyściak, P., 2019, Active edible furcellaran/whey protein films with yerba mate and white tea extracts: Preparation, characterization and its application to fresh soft rennet-curd cheese. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1307-1316.
- Ramos, Ó. L., Pereira, J. O., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Franco, M. I., Lopes-da-Silva, J. A. & Malcata, F. X., 2012, Evaluation of antimicrobial edible coatings from a whey protein isolate base to improve the shelf life of cheese. *Journal of Dairy Science*, 95(11), 6282-6292.
- Soleimani-Rambod, A., Zomorodi, S., Naghizadeh Raeisi, S., Khosrowshahi Asl, A. & Shahidi, S. A., 2018, The effect of Xanthan gum and flaxseed mucilage as edible coatings in cheddar cheese during ripening. *Coatings*, 8(2), 80.

- Wang, Q., Yu, H., Tian, B., Jiang, B., Xu, J., Li, D. & Liu, C., 2019, Novel Edible Coating with Antioxidant and Antimicrobial Activities Based on Whey Protein Isolate Nanofibrils and Carvacrol and Its Application on Fresh-Cut Cheese. *Coatings*, 9(9), 583.
- Yangilar, F., 2017, Effects of natamycin edible films fortified with essential oils on the safety and quality parameters of Kashar cheese. *Journal of Food Safety*, 37(2), e12306.
- Yilmaz, F. & Dagdemir, E., 2012, The effects of beeswax coating on quality of Kashar cheese during ripening. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(12), 2582-2589.
- Yilmaz, G., Ayar, A. & Akin, N., 2005, The effect of microbial lipase on the lipolysis during the ripening of Tulum cheese. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 269-274.
- Youssef, A. M., El-Sayed, S. M., Salama, H. H., El-Sayed, H. S. & Dufresne, A., 2015, Evaluation of bionanocomposites as packaging material on properties of soft white cheese during storage period. *Carbohydrate Polymers*, 132, 274-285.
- Youssef, A. M., El-Sayed, S. M., El-Sayed, H. S., Salama, H. H. & Dufresne, A., 2016, Enhancement of Egyptian soft white cheese shelf life using a novel chitosan/carboxymethyl cellulose/zinc oxide bionanocomposite film. *Carbohydrate Polymers*, 151, 9-19.
- Youssef, A. M., Assem, F. M., Abdel-Aziz, M. E., Elaaser, M., Ibrahim, O. A., Mahmoud, M. & Abd El-Salam, M. H., 2019, Development of bionanocomposite materials and its use in coating of Ras cheese. *Food chemistry*, 270, 467-475.
- Zantar, S., Yedri, F., Mrabet, R., Laglaoui, A., Bakkali, M. & Zerrouk, M. H., 2014, Effect of Thymus vulgaris and Origanum compactum essential oils on the shelf life of fresh goat cheese. *Journal of Essential Oil Research*, 26(2), 76-84.
- Zhong, Y., Cavender, G. & Zhao, Y., 2014, Investigation of different coating application methods on the performance of edible coatings on Mozzarella cheese. *LWT-Food Science and Technology*, 56(1), 1-8.
- Ziaee, E., Razmjooei, M., Shad, E. & Eskandari, M. H., 2018, Antibacterial mechanisms of Zataria multiflora Boiss. essential oil against Lactobacillus curvatus. *LWT*, 87, 406-412.



The effect of chitosan-whey protein based edible coating containing bionanocomposite material and *Zataria multiflora* essential oil on UF-Feta type cheese shelf life

M. Gohargani¹, H. Lashkari^{*2}, A. R. Shirazinejad³

Received: 2020.09.15

Accepted: 2020.10.21

Introduction: In recent years, the tendency to use antimicrobial edible film and coating has increased, which has increased the quality, safety and shelf life of food. Cheese is one of the most important dairy products that has a special nutritional value in human nutrition. UF-Feta cheese, which is a type of cheese, is contaminated by microorganisms such as coliforms, spore-forming bacteria and lactose-fermenting yeasts. The causative agent of listeriosis, *Listeria monocytogenes*, is transmitted through the consumption of cheese. In this study, the effect of composite edible coating based on chitosan and whey protein containing titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles and *Zataria multiflora* essential oil on shelf life, microbial, physicochemical and sensory properties of UF-Feta type cheese was investigated. Furthermore, the inhibitory effect of films from coating solutions on the growth of *Listeria monocytogenes* was also investigated.

Materials and Methods: Chitosan, whey protein isolate (WPI) (higher than 91% protein), *Zataria multiflora* essential oil (ZEO), TiO₂ nanoparticles, and glycerol were procured from Bio Basic (Canada), Hilmar Canada, Barij-Essence Co. (Iran), Acros Co. (USA), and Merck Co. (Darmstadt, Germany), respectively. In order to prepare the coatings, a solution of WPI and chitosan was prepared separately. Whey protein suspension (3%, w/v) was made by dispersing WPI in DDW subsequently heated at 90°C for 30 min at pH value of 8.0 and then cooled rapidly. Chitosan solution (10 g/L) was made by dispersing chitosan in 2% (v/v) acetic acid solution with constant mixing for 3 h at 60°C. Based on preliminary experiments, whey protein-chitosan suspension was made using blending two polymer suspensions at constant ratio of WPI/chitosan (70:30) and mixed magnetically for 15 min at 25°C. In the next step, TiO₂ NPs (1 and 2% w/w) were incorporated and after mixing for 15 min, glycerol (30% w/w) was incorporated to the composite suspension and again stirred for 30 min. Next, ZEO (0 and 1% v/v) was incorporated into the composites suspension and sonicated for 30 min with power of 100 W.

To produce cheese samples, milk was subjected to bactofogation, pasteurization (76°C for 15 seconds), ultrafiltration and then the retentate was homogenized at a pressure of 70 bars. By adding a starter culture (10 units /1000 L), the pH of the retentate was decreased to 6.2. Then, rennet (0.004 g/ 100 g) and salt (2 g/ 100 kg) were mixed with water and added to the cheese container. Retentate was transferred to a coagulation tunnel at 37 ° C for 30 minutes to form a coagulum. After incubation, the coating solutions were sprayed on the clot using a spray device equipped with a spray gun and packed with aluminum foil. Finally, the samples were stored at 4°C. Samples were subjected to microbiological tests (contaminating microbes and starters), physicochemical (fat, titratable acidity, pH, and moisture content, texture analysis) and sensory evaluation at different ripening periods (3 to 60 days). To evaluate the growth inhibitory of *Listeria monocytogenes* on the surface of cheese by composite films, pieces of cheese (23× 21× 1.7 mm) were first cut under aseptic conditions and their upper surface was inoculated with 40 µl of *Listeria monocytogenes* (ATCC19115) until the initial bacterial count was about 3.5 log cfu /g. The composite films placed on the surface of the inoculated cheese and stored at 4°C. Film-inoculated cheese samples were used as a control. Microbial counts were done at intervals of days 0, 3, 8, 11, 14. Data analyzed with SPSS software and means were compared with Duncan multiple range test.

Results and Discussion: The results showed that TiO₂ NPs and ZEO significantly reduced total bacterial count, lactic acid bacteria and coliforms compared to control with increasing storage period. Mold and yeast colonies also increased considerably over time in the control compared to the nanoparticle-treated samples, while the While in treatments containing ZEO did not grow at all. Physicochemical analysis exhibited that the content of moisture, fat, and pH of all cheeses decreased, acidity and texture hardness increased. Sensory evaluation of UF-Feta cheeses showed that the aroma, taste and overall acceptability of the control and nanoparticle-containing coatings improved compared to the brine-treated cheese. Nevertheless, in the coating samples containing ZEO due to the negative effect of the essential oil on the organoleptic properties of cheese, consumer acceptance was significantly reduced. On the other hand, the use of composite

1 and 3. PhD Student and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Sarvestan Branch, Islamic Azad University, Sarvestan, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran.

(* Corresponding author; Email: hlashkari@gmail.com)

films to inhibit the growth of *Listeria monocytogenes* on the surface of UF-Feta cheese at 4 °C for 14 days showed that composite films, especially films containing ZEO, had a significant effect on the reduction of the *Listeria monocytogenes* population. As a conclusion, composite films containing TiO₂ NPs and ZEO could be applied in food packaging systems, particularly at the UF-Feta cheese packaging.

Keywords: *Zataria multiflora* essential oil, Whey protein isolate, UF-Feta Cheese, Coating, Chitosan, TiO₂ nanoparticles.



مقاله پژوهشی

اثر تخمیر بوسیله دو باکتری لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس بر فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره کینوا

رعنا طهماسبی^۱ - مهتا میرزایی^{۲*} - محمدرضا خانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۳۰

چکیده

فعالیت پروتئولیتیک باکتری‌های تخمیرکننده می‌تواند منجر به تولید پپتیدهای زیست‌فعال با فعالیت‌های آنتی اکسیدانی، ضد فشارخون، ضد دیابت و غیره گردد. در این پژوهش اثر تخمیر بوسیله دو باکتری لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و ترکیب دو باکتری بر فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره کینوا در زمان‌های مختلف تخمیر بررسی گردید. فرآیند تخمیر با تلقیح میکروارگانیسم‌های لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس به صورت جداگانه و ترکیبی به عصاره آبی کینوا آغاز و در زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت نمونه برداری انجام شد. سپس فاکتورهایی از قبیل pH، اسیدیته، میزان پروتئین محلول، میزان هیدرولیز، میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها با روش مهار رادیکال‌های DPPH و ABTS مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس توان اسیدسازی بیشتری در مقایسه با لاکتوباسیلوس روتری دارد. به طوریکه میزان اسیدیته در نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس بعد از ۷۲ ساعت از ۰/۲۷ به ۱/۱۳ درصد رسید در حالیکه این مقدار در نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری ۰/۸۰ درصد اندازه‌گیری شد. درجه هیدرولیز در نمونه‌های تخمیر شده توسط تمام گونه‌ها افزایش یافت و بیشترین افزایش مربوط به نمونه تخمیر شده توسط باکتری لاکتوباسیلوس روتری بود به طوری که میزان گروه‌های آمین آزاد از ۲۰/۲۸ به ۵۸/۱۴ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین در طی ۷۲ ساعت تخمیر رسید. میزان فعالیت آنتی اکسیدانی براساس مهار رادیکال‌های DPPH و ABTS در تمامی نمونه‌های تخمیری افزایش یافت. بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی به ترتیب در نمونه‌های تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری، ترکیب دو باکتری لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (با نسبت ۵۰:۵۰) و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس مشاهده شد. میزان ترکیبات فنولی در تمامی نمونه‌های تخمیر شده افزایش یافت. اما بیشترین افزایش مربوط به نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری بود که بعد از ۷۲ ساعت فرآیند تخمیر از ۰/۷۳ به ۱۶/۲۱ میلی گرم اسیدگالیک/ میلی لیتر رسید. در نهایت نتایج این تحقیق نشان دادند که تخمیر عصاره کینوا باعث بهبود خواص آنتی اکسیدانی آن می‌شود و محصول تولیدی دارای پتانسیل کاربرد به عنوان نوشیدنی تخمیری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تخمیر، عصاره کینوا، فعالیت آنتی اکسیدانی، لاکتوباسیلوس روتری، لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس

مقدمه

رشد فزاینده بیماری‌ها در زندگی معمول نظیر انفارکتوس میوکارد، اختلالات قلبی عروقی، سکته مغزی، فشار خون بالا، دیابت و غیره به عنوان یک نگرانی جدی جهانی تلقی شده است (Saadi et al., 2015). مجموعه‌ای از فعالیت‌های بیولوژیکی، از جمله فعالیت آنتی اکسیدانی، ضد فشارخون، ضد دیابت و تقویت سیستم ایمنی بدن به انواع مختلف پپتیدهای زیست فعال حاصل از منابع غذایی مختلف نسبت داده شده است. این پپتیدها با روش‌های مختلفی نظیر سنتز شیمیایی، تخمیر میکروبی و هیدرولیز آنزیمی تولید می‌شوند (Mirzaei et al., 2018).

توسعه محصولات غذایی جدید با بهبود کیفیت و مزایای سلامت بخشی در سال‌های اخیر مورد توجه واقع شده است (Dallagnol et al., 2013). امروزه افزایش آگاهی مصرف کنندگان نسبت به رژیم‌های سالم و تغییر عادات غذایی به دلیل شهرنشینی باعث شده است که بازارهای بزرگ غذایی، برای تولید غذاهای کاربردی جدید با تأثیر مفید بر سلامتی ایجاد شود (Rathore et al., 2012). در همین راستا، علاقه زیادی به استفاده از شبه غلات مانند کینوا برای فرمولاسیون غذاهای جدید ایجاد شده است. دانه کینوا به دلیل ترکیب متعادل اسید آمینه‌های ضروری، منبع عالی از پروتئین‌های با کیفیت محسوب می‌شود (Wright et al., 2002). پروتئین‌های موجود در رژیم غذایی به طور معمول به عنوان منبع انرژی و آمینواسیدهای ضروری در نظر گرفته

(*) - نویسنده مسئول: Email: mahtam86@gmail.com

هیدرازیل ($\text{DPPH}^{\cdot}$)، ۲ و ۲ آزینو بیس ۳-اتیل بنزوتیازولین -۶ سولفونیک اسید ($\text{ABTS}^{\cdot}$) از شرکت سیگما (آمریکا) و سرم آلبومین گاوی ($\text{BSA}^{\cdot}$)، لوسین، ارتوفتال آلدئید ($\text{OPA}^{\cdot}$)، سولفات مس، سدیم تترا بورهیدرات، سود سوزآور، معرف فولین و سدیم پتاسیم تارتارات از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

روش تهیه مایه تلقیح

باکتری‌ها از مرکز کلکسیون باکتری‌ها و قارچ‌های ایران تهیه شد و بعد از احیاء در محیط MRS، در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند و از کشت ۲۴ ساعته باکتری‌ها برای تولید مایه تلقیح استفاده شد (خلیلی و ارجائی، ۱۳۹۷).

تهیه عصاره کینوا

برای تهیه عصاره کینوا، ابتدا دانه‌های کینوا تمیز شد و سپس در آب با دمای محیط همزده و شسته شدند چندین بار آب آن تعویض شد. آب مورد استفاده به نسبت ۱۸ به ۱ به دانه‌های کینوا اضافه شد و به مدت ۷ دقیقه عمل پخت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. سپس هموژناسیون و بعد فیلتراسیون انجام شد. سپس عصاره آبی کینوا توسط صافی از دانه‌های کینوا جدا شد. قسمت صاف شده در ۱۲۰ درجه به مدت ۲۰ ثانیه استریل گردید و تا دمای محیط سرد شد تا عصاره‌ها آماده تلقیح باکتری گردند (Bianchi et al., 2015).

تلقیح باکتری‌ها به عصاره کینوا

فرآیند تخمیر با تلقیح میکروارگانیسم‌های لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس به صورت جداگانه و ترکیبی به صورت هم زمان به عصاره آبی کینوا آغاز شد. نمونه لیوفیلیزه باکتری‌ها در محیط کشت MRS Broth کشت داده شدند و در جاربیه‌هوازی در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند. کشت ۲۴ ساعته از باکتری‌ها بعد از بررسی عدم وجود آلودگی و خلوص باکتری‌ها، برای تهیه مایه تلقیح استفاده شد. برای این منظور ۱۰۰ میکرولیتر از کشت اولیه به ۱۰ سی‌سی محیط کشت MRS تلقیح شد. حجم مورد استفاده از سوسپانسیون مایه تلقیح برای به رسیدن به جمعیت نهایی 10^7 cfu/ml از میکروارگانیسم‌ها در محصول محاسبه و به نمونه مورد نظر تلقیح شد. نمونه‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد جهت تخمیر گرمخانه‌گذاری و در زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت نمونه‌برداری انجام و جهت توقف فرآیند تخمیر، محصول تا دمای یخچال سرد و تا

می‌شوند که جهت رشد و حفظ عملکردهای فیزیولوژیکی مورد نیاز هستند اما در سال‌های اخیر نقش پروتئین‌های غذایی به عنوان ترکیبات مهم فیزیولوژیکی مورد استقبال قرار گرفته است (موثدی و همکاران، ۱۳۹۶). فرآیند تخمیر به عنوان یکی از موثرترین روش‌ها، برای افزایش ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی و سلامت بخشی تلقی می‌شود. فرآیند تخمیر باعث بهبود محتوای مواد مغذی غذاها از طریق بیوسنتز ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه و پروتئین‌های ضروری می‌گردد و باعث افزایش فراهمی زیستی ریز مغذی‌ها و با تخریب عوامل ضدتغذیه‌ای می‌شود (Magala et al., 2015). اثرات سلامت بخشی باکتری‌های اسیدلاکتیک از جمله خواص ضد میکروبی، ضد سرطان و... توجه محققین مختلف را در صنایع غذایی و داروسازی به خود جلب کرده است (میردامادی و همکاران، ۱۳۹۶). هیدرولیز پروتئین‌های کینوا توسط باکتری‌های اسید لاکتیک می‌تواند رشد و فعالیت متابولیکی آنها را در انتشار اسیدهای آلی، پپتیدهای کوچک و اسیدهای آمینه افزایش دهد (Dallagnol et al., 2013). براین اساس پپتیدهای تولید شده در طی فرآیند تخمیر می‌توانند خواص متعددی من جمله خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد فشار خون و... داشته باشند. خواص پپتیدهای زیست فعال به ترکیب و توالی آن‌ها بستگی دارد (Kim et al., 2013). در طی جریان تخمیر علاوه بر تولید پپتیدهای آنتی‌اکسیدان ترکیبات فنولی نیز تولید می‌شود که این ترکیبات نیز دارای خواص آنتی‌اکسیدانی می‌باشند. اثر آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات به دلیل خاصیت احیاکنندگی و ساختار شیمیایی آن‌ها می‌باشد. آنها به عنوان احیاکننده، دهنده هیدروژن و شلاته‌کننده فلزات عمل می‌کنند (جمشیدی و همکاران، ۱۳۸۹، Chung و همکاران، ۲۰۰۲). از آنجایی که اکسیداسیون یک عامل مهم در بروز بیماری‌های مختلف در انسان و کاهش عمر محصولات غذایی است (Sharma et al., 2011)، بنابراین تولید پپتیدهای آنتی‌اکسیدان به عنوان نسل جدید آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه واقع شده است (Wang et al., 2017). در تحقیق حاضر اثر تخمیر بوسیله دو باکتری لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره کینوا مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

کینوا از بازار محلی تهیه شد، باکتری لاکتوباسیلوس روتری (PTCC NO: ۱۶۵۵) و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (PTCC ۱۶۴۳) NO: از مرکز کلکسیون باکتری‌ها و قارچ‌های ایران، محیط کشت MRS BROTH و MRS AGAR -۲-۲ دی فنیل-۱-پیکریل

انجام کامل آزمون‌ها در یخچال نگهداری شد (ابراهیمی جم و همکاران، ۱۳۹۸).

تعیین فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی

ارزیابی فعالیت ضد اکسایشی با استفاده از روش مهار

رادیکال DPPH

برای تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس مهار رادیکال DPPH، میزان مشخصی از هر نمونه (۱۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) با محلول DPPH ۰/۰۰۲ درصد در اتانول مخلوط شد. سپس مخلوط واکنش در دمای اتاق به مدت ۶۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. سپس کاهش جذب نمونه در ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH بر اساس فرمول زیر و به ازاء وزن مشخصی از پروتئین گزارش شد (Abugoch et al., 2009).

$$(۱) \quad \text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل} \times \frac{100}{\text{جذب کنترل}} = (\%) \text{ فعالیت مهارکنندگی رادیکال}$$

ارزیابی فعالیت ضد اکسایشی با استفاده از روش مهار

رادیکال ABTS

محلول ABTS (۷ میلی‌مولار) با پرسولفات پتاسیم (۲/۴۵ میلی‌مولار) مخلوط و در دمای یخچال برای مدت ۱۶-۱۷ ساعت، نگهداری شد. محلول سبز آبی با بافر فسفات (۵ میلی‌مولار، pH=۷) تا رسیدن به میزان جذب 0.7 ± 0.2 در طول موج ۷۳۴ نانومتر رقیق شد. مقدار مشخصی از نمونه با معرف ABTS مخلوط شد و بعد از ۶ دقیقه نگهداری در دمای اتاق میزان جذب در ۷۳۴ نانومتر اندازه‌گیری شد. درصد مهارکنندگی رادیکال ABTS بر اساس فرمول زیر و به ازاء وزن مشخص از پروتئین گزارش شد (Re et al., 1999).

$$(۲) \quad \text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل} \times \frac{100}{\text{جذب کنترل}} = (\%) \text{ فعالیت مهارکنندگی رادیکال}$$

اندازه‌گیری pH و اسیدیته قابل تیترا

pH عصاره تخمیری در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد توسط دستگاه pH متر (C863, Consort، دانمارک) اندازه‌گیری شد. اسیدیته قابل تیترا با استفاده از روش تیتراسیون و به صورت درصد اسید لاکتیک بیان شد و با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (استاندارد ملی ایران ۱۱۱۱۷، ۱۳۸۶).

$$(۳) \quad \text{اسیدیته (درصد)} = \frac{2 \times \text{حجم سود مصرفی} \times 0.009 \times 100}{\text{وزن نمونه}}$$

بررسی زنده‌مانی میکروارگانیزم‌ها

برای شمارش سلول‌های زنده باکتری‌ها (لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس) از کشت سطحی در پلیت‌های حاوی

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی

محتوی تام فنولیک با استفاده از معرف فولین-سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. به نمونه‌ها با غلظت (۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) واکنشگر فولین سیوکالتیو رقیق شده با نسبت ۱:۵ اضافه شد، پس از ۳ دقیقه، محلول کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه شد. مخلوط ۱۵ دقیقه در تاریکی نگهداری شد سپس در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفوتومتر (PG Instruments، Merck آلمان) خوانده شد. میزان ترکیبات فنولی بر اساس استاندارد کالبراسیون اسیدگالیک و برحسب میلی‌گرم اسیدگالیک گزارش شد (ساده میری نژاد و همکاران، ۱۳۹۴).

اندازه‌گیری پروتئین محلول

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین محلول در نمونه‌های مورد آزمون، از روش لوری استفاده شد. در روش لوری، محلول A از ترکیب سولفات مس (۱ درصد)، سدیم پتاسیم تارتارات (۲ درصد)، سود ۰/۱ نرمال و کربنات سدیم ۲ درصد تهیه شدند. در زمان آزمایش، مقدار مشخصی نمونه پروتئینی با محلول A مخلوط و بلافاصله ورتکس و ۱۰ دقیقه در شرایط تاریکی و در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس محلول فولین رقیق شده (به نسبت ۱:۱ با آب) به هر نمونه اضافه و بلافاصله ورتکس شد. بعد از گذشت ۲۰ دقیقه میزان جذب نور در طول موج ۷۳۴ نانومتر خوانده شد. مقدار پروتئین نمونه‌ها بر اساس منحنی استاندارد BSA و بر حسب mg/ml گزارش شد. ابتدا رقت‌های مختلف (۲۰۰- صفر میلی‌گرم/میلی‌لیتر) تهیه و با استفاده از روش لوری میزان پروتئین محلول محاسبه گردید (Lowry et al., 1951).

اندازه‌گیری درجه هیدرولیز به روش OPA

محلول ارتو فتال آلدئید از مخلوط سدیم تترا هیدرایورات (۱۰۰ میلی‌مولار)، سدیم دیسل سولفات (۲۰ درصد)، ارتو فتال آلدئید در متانول و بتامرکاپتواتانول به صورت تازه تهیه شد. در زمان آزمایش، مقدار مشخصی نمونه پروتئینی با محلول ارتو فتال آلدئید تهیه شده مخلوط شد و بلافاصله ورتکس و ۲ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس به میزان مشخص آب مقطر اضافه شد و جذب نمونه‌ها در ۳۴۰ نانومتر قرائت شد. سپس با استفاده از منحنی استاندارد لوسین مقدار گروه‌های آمین آزاد بر اساس میکرومول لوسین بازی میلی گرم پروتئین گزارش شد (Fitznar et al., 1999).

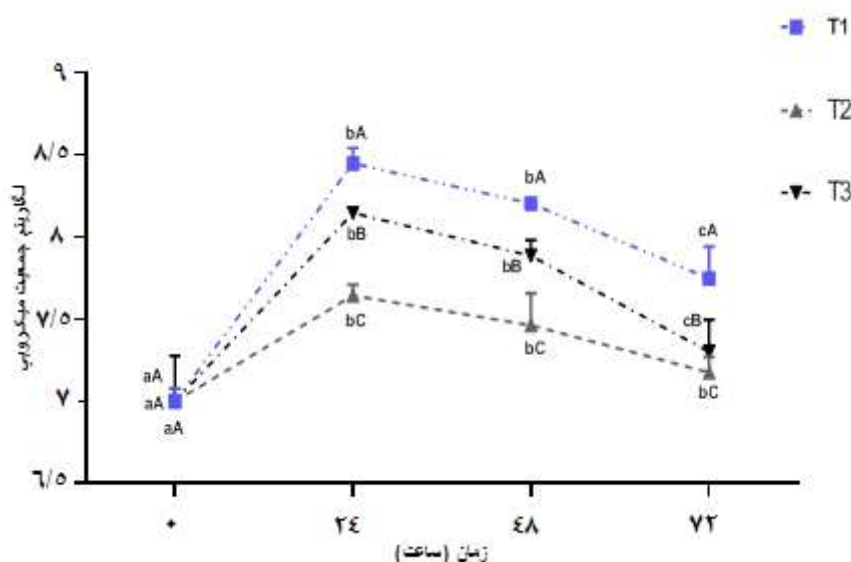
نتایج و بحث

خواص فیزیکوشیمیایی آرد حاصل از دانه کینوا

میزان پروتئین کل آرد دانه کینوا اندازه‌گیری شده با روش کلدال ۱۳/۴۹ درصد بازای وزن خشک نمونه برآورد شد. در تحقیق مشابهی که Sezgin و Sanlier (۲۰۱۹) انجام دادند میزان پروتئین کل دانه کینوا را ۱۴/۱۲ درصد بازای وزن خشک کینوا گزارش کردند. میزان pH آرد دانه کینوا نیز ۶/۲۴ و میزان اسیدیته آرد ۱/۰۴ درصد اندازه‌گیری شد.

بررسی رشد و زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در طی تخمیر

نتایج مربوط به رشد و زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در عصاره کینوا تهیه شده در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱ - ارزیابی زنده‌مانی باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری (T1)، لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (T2) و لاکتوباسیلوس روتری + لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (T3) در طی تخمیر در زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین داده‌های هر تیمار در طی زمان و حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها در هر زمان می‌باشد ($p < 0.05$).

نشان دادند که زنده‌مانی باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس زمانی که به‌صورت ترکیبی در نوشیدنی تخمیری استفاده شدند در طی ۲۴ ساعت اول فرآیند تخمیر افزایش یافت و به ۸/۱۴ Log CFU/ml رسید. اما در ۲۴ ساعت دوم فرآیند تخمیر با کاهش همراه بود ولی این تغییرات معنادار نبود ($p > 0.05$). سپس تعداد باکتری‌های پس از ۷۲ ساعت روند کاهشی یافت و به ۷/۳۰ Log CFU/ml رسید. در میان این باکتری‌ها، رشد باکتری لاکتوباسیلوس روتری نسبت به سایر باکتری‌ها بیشتر بود. که این تفاوت در رشد باکتری‌ها مربوط به خصوصیات ساختاری باکتری

محیط کشت MRS آگار استفاده شد. نتایج به صورت واحد لگاریتمی تعداد سلول‌ها در هر میلی‌لیتر بیان شد (خلیلی و ارجائی، ۱۳۹۷).

$$(۴) \quad \text{ضریب رقت} \times \text{حجم تلقیح شده در پلیت} = \frac{\text{مجموع کلنی‌های شمارش شده}}{\text{شمارش سلول زنده}}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

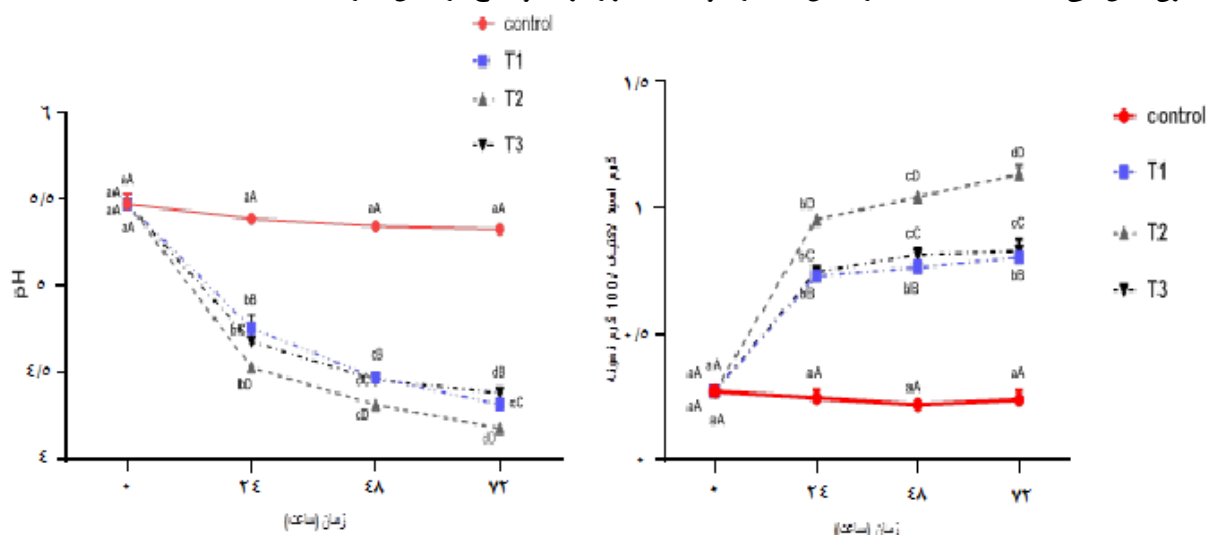
تمامی آزمون‌ها در سه تکرار، انجام شدند. رسم نمودارها و آنالیز آماری با روش تجزیه واریانس دو طرفه (Two-way ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها توسط تست Turkey's multiple و نرم‌افزار graphpad prism 8 انجام شد. برای بررسی معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌ها از تجزیه واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده شد.

همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تعداد باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری پس از ۲۴ ساعت تخمیر افزایش یافت و از ۷ به ۸/۴۴ Log CFU/ml رسید. سپس با ادامه فرآیند تخمیر تا ۴۸ و ۷۲ ساعت تعداد باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری به ترتیب به ۸/۲۰ و ۷/۷۸ Log CFU/ml کاهش یافت. از طرف دیگر تعداد باکتری‌های لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس در ۲۴ ساعت اول نیز با افزایش همراه بود و به ۷/۶۴ Log CFU/ml رسید. سپس در زمان‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب به ۷/۴۶ و ۷/۱۷ Log CFU/ml کاهش یافت. ولی این تغییرات معنادار نبود ($p > 0.05$). نتایج مربوط به شکل ۱ تیمار (T3)

ترکیبات سمی می‌شود که این ترکیبات برای باکتری‌های پروبیوتیک خطرناک هستند و سبب از بین رفتن آن‌ها می‌شود (سوری و همکاران، ۱۳۹۶؛ Bianchi et al., 2015; Ceballos-González et al., 2018).

اثر تخمیر بر pH و اسیدیته

در مرحله دوم اثر تخمیر بر pH و اسیدیته نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- بررسی اثر تخمیر بر pH و اسیدیته نمونه‌های کینوا حاوی باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری (T1)، لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (T2) و لاکتوباسیلوس روتری + لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (T3) در زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و مقایسه با نمونه کنترل (تخمیر نشده) حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین داده‌های هر تیمار در طی زمان و حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها در هر زمان می‌باشد ($p < 0.05$).

در نمونه تخمیر شده توسط باکتری لاکتوباسیلوس روتری از ۰/۲۷ به ۰/۸۰ درصد در طی ۷۲ ساعت تخمیر افزایش یافت. ولی بیشترین افزایش مربوط به ۲۴ ساعت اول فرآیند تخمیر بود. میزان اسیدیته در نمونه حاوی باکتری لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس در طی فرآیند تخمیر افزایش یافت به طوری که از ۰/۲۷ درصد در ابتدای فرآیند به مقادیر ۰/۹۵، ۱/۰۴ و ۱/۱۳ درصد در زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت تخمیر رسید. میزان اسیدیته در نمونه حاوی باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (۵۰:۵۰) نیز همانند سایر نمونه‌ها طی فرآیند تخمیر افزایش یافت و از ۰/۲۷ درصد به ۰/۸۳ درصد در زمان‌های آخر تخمیر رسید. نتایج نشان دادند که باکتری لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس سبب افزایش بیشتر اسیدیته نسبت به سایر تیمارها شد بطوری که لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس دارای رشد کمتر و قدرت بالاتر در تولید اسید است در حالی که باکتری لاکتوباسیلوس روتری دارای رشد سریعتر و سرعت تولید اسید کمتری می‌باشد. بنابراین نتایج نشان دادند که باکتری لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس قدرت اسیدسازی بالاتری

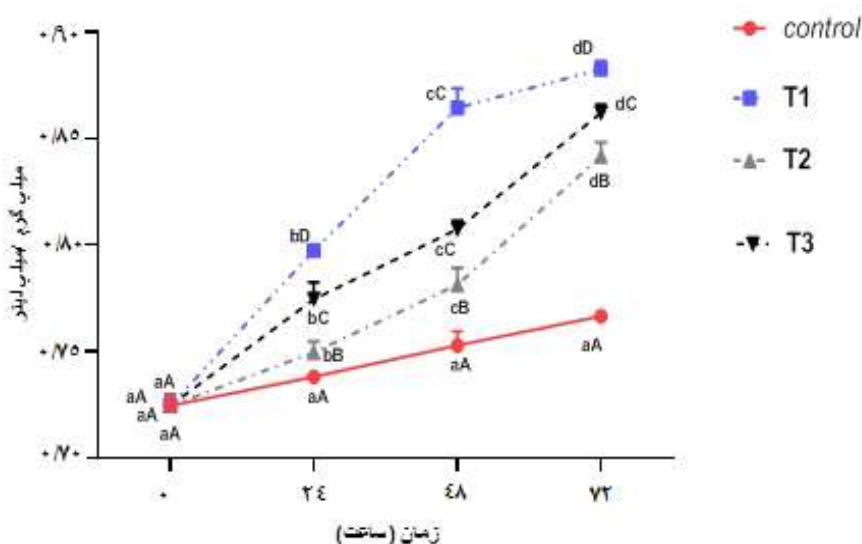
می‌باشد. علاوه بر آن نتایج نشان دادند که با افزایش زمان تخمیر تا ۲۴ ساعت جمعیت باکتری‌ها افزایش یافت ولی با ادامه فرآیند تخمیر تا ۷۲ ساعت از جمعیت باکتری‌ها در تمامی نمونه‌ها کاسته شد. محقق دلیل این امر را اینگونه بیان کردند که با افزایش زمان تخمیر و کاهش مواد مغذی از یک طرف و تولید اسید و کاهش pH از طرف دیگر زنده‌مانی این باکتری‌ها کاهش می‌یابد. یکی دیگر از عواملی که تاثیر بسزایی در زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک دارد حضور اکسیژن و گونه‌های اکسیژن فعال می‌باشد که سبب ایجاد رادیکال‌های آزاد و

بعد از بررسی زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در طی فرآیند تخمیر، pH و اسیدیته نمونه‌ها بعنوان دو فاکتور مهم مورد ارزیابی قرار گرفت. براین اساس طبق شکل ۲ میزان pH تمامی نمونه‌های تخمیر شده توسط باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری، لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و ترکیب این دو باکتری با نسبت ۵۰:۵۰ کاهش یافت. به طوری که در نمونه‌های حاوی لاکتوباسیلوس روتری از ۵/۴۷ در زمان صفر به ۴/۳۲ پس از ۷۲ ساعت تخمیر رسید. میزان pH در نمونه‌های حاوی لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس قبل از فرآیند تخمیر ۵/۴۷ اندازه گیری شد ولی با ادامه تخمیر تا ۷۲ ساعت ۴/۱۸ به رسید و در نمونه تخمیر شده توسط ترکیب این دو باکتری میزان pH از ۵/۴۷ در ابتدا به ۴/۳۸ پس از ۷۲ ساعت تخمیر رسید. نتایج نشان دادند که pH نمونه‌های تخمیر شده در اثر فعالیت بیشتر این باکتری‌ها در طی فرآیند تخمیر به طور معناداری کاهش یافته است ($p < 0.05$). میزان اسید لاکتیک تولید شده توسط باکتری‌های پروبیوتیک به عنوان یکی دیگر از فاکتورها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که میزان اسیدیته

اسیدیته نسبت به لاکتوباسیلوس پلانتاروم شد. آنها دلیل این امر را فعالیت بیشتر لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس در طول فرآیند تخمیر بیان داشتند. Akpinar و همکاران (۲۰۱۰) از مهمترین دلایل افزایش میزان اسیدیته و pH در طی فرآیند تخمیر و نگهداری مواد غذایی را نیز فعالیت باکتری‌ها و تولید اسید توسط آن‌ها (به خصوص اسید لاکتیک) گزارش کردند (Akpinar et al., 2010). علاوه بر آن محققین مختلف گزارش کردند که باکتری‌های اسید لاکتیک اسید دوست هستند در نتیجه قادر به تحمل pH پایین می‌باشند (Ceballos-González et al., 2018; Katina et al., 2007).

میزان پروتئین محلول، اندازه‌گیری شده از نوشیدنی تخمیری بر پایه کینوا توسط روش لوری
میزان پروتئین محلول نمونه‌ها با روش لوری اندازه‌گیری شد. براین اساس میزان پروتئین محلول نمونه‌ها قبل و طی زمان‌های مختلف تخمیر اندازه‌گیری شد. نتایج در شکل ۳ ارائه شده است.

دارد در حالی که باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری از قدرت اسیدسازی متوسط برخوردار است. براساس نتایج حاصل از منحنی رشد و تغییرات pH به نظر می‌رسد که رشد سریع‌تر باکتری لاکتوباسیلوس روتری نسبت به باکتری لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس در ۲۴ ساعت اول فرآیند تخمیر توجیه‌کننده عدم کاهش شدید pH در نمونه‌های حاوی سویه‌های ترکیبی (لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس با نسبت ۵۰:۵۰) می‌باشد و بعد از آن با آغاز رشد لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس با قدرت اسیدسازی بالاتر، کاهش pH در نمونه‌ها تشدید شده است. باقری و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی که انجام دادند رشد و میسر متابولیکی باکتری‌ها را عامل تغییرات pH در نمونه‌های تخمیر شده بیان کردند. ایزدی و همکاران (۱۳۹۶) شرایط تولید نوشیدنی تخمیری فراسودمند بر پایه برنج را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از باکتری‌های لاکتوباسیلوس پلانتاروم، لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس به صورت ترکیبی و توأم به منظور تخمیر استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که باکتری لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس سبب افزایش



شکل ۳- بررسی میزان پروتئین محلول نمونه‌های کینوا حاوی باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری (T1)، لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (T2) و لاکتوباسیلوس روتری + لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (T3) اندازه‌گیری شده توسط لوری در زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و مقایسه با نمونه کنترل (تخمیر نشده)

حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین داده‌های هر تیمار در طی زمان و حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها در هر زمان می‌باشد ($p < 0.05$).

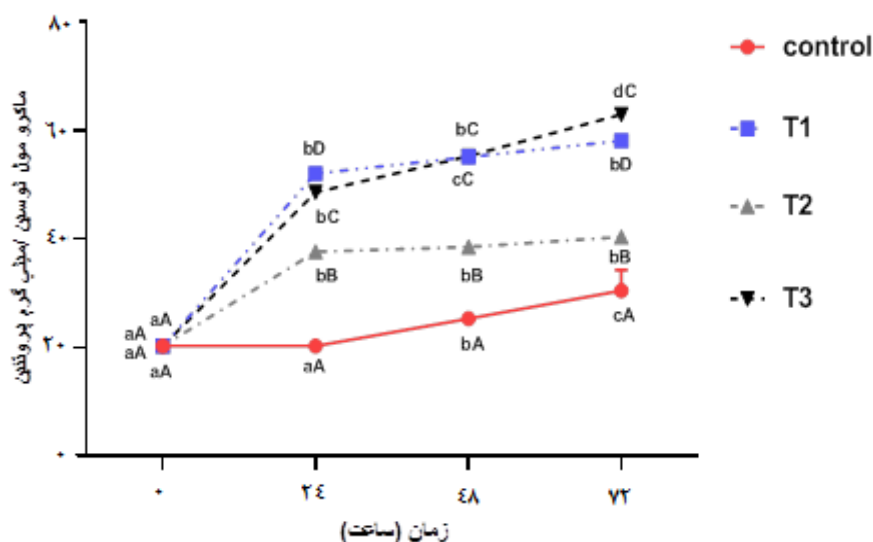
لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس نیز مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس نتایج نشان دادند که غلظت پروتئین محلول در نمونه‌های تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس چه به صورت جداگانه و چه به صورت ترکیب باهم (۵۰:۵۰) سبب افزایش میزان پروتئین نسبت به نمونه کنترل (تخمیر نشده) شد. بنابراین میزان

همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، که میزان پروتئین محلول در نمونه کنترل (تخمیر نشده) در طی زمان‌های مختلف تفاوت معناداری را نشان نداد ($p > 0.05$) و میزان آن پس از ۷۲ ساعت ۰/۷۶ میلی‌گرم/ میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. غلظت پروتئین محلول در نمونه‌های تخمیر شده توسط باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری و

(۲۰۰۷) اثر تخمیر توسط لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس در شیر و شیرسویا را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از روش برادفورد برای اندازه‌گیری پروتئین محلول استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که میزان پروتئین محلول‌ها در تمامی نمونه‌ها در طی ۲۴ ساعت تخمیر به‌طور معناداری کاهش یافت. به‌طور خاص، میزان پروتئین محلول در شیر و شیر سویای تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس بولگاریکوس ۴۹٪ و ۱۳٪ کاهش یافته است. مقدار پروتئین در شیر و شیر سویای تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس ۵۴ درصد و ۷۳ درصد کاهش یافته است. آن‌ها کاهش محتوای پروتئین را اینگونه بیان داشتند که باکتری‌های اسید لاکتیک به شدت وابسته به منابع ازت هستند و نتایج نشانگر آزادسازی پپتیدها از شیر و شیر سویا به دلیل عمل پروتئینازهای غیراختصاصی ترشح شده در زمان تخمیر است. علاوه بر این، کاهش کمتری در غلظت پروتئین محلول در نمونه‌های تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس بولگاریکوس مشاهده شد، آن‌ها دلیل این امر را اینگونه بیان داشتند که پروتئین سویا نمی‌تواند به‌طور کامل توسط این سویه باکتریایی خاص مورد استفاده قرار گیرد (Apostolidis et al., 2007).

میزان درجه هیدرولیز نمونه‌های تخمیر شده با روش OPA

میزان گروه‌های آمین آزاد نمونه‌ها توسط روش OPA اندازه‌گیری شد و نتایج به‌صورت شکل زیر گزارش شد.



شکل ۴- بررسی میزان گروه‌های آمین آزاد نمونه‌های کینوا حاوی باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری (T1)، لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس (T2) و لاکتوباسیلوس روتری + لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس (T3) اندازه‌گیری شده توسط OPA در زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و مقایسه با نمونه کنترل (تخمیر نشده)

حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین داده‌های هر تیمار در طی زمان و حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها در هر زمان می‌باشد ($p < 0.05$).

پروتئین محلول به‌ترتیب در نمونه‌های تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری، لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس و ترکیب این دو باکتری ۰/۸۸، ۰/۸۴ و ۰/۸۶ میلی‌گرم/ میلی‌لیتر پس از ۷۲ ساعت تخمیر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که میزان پروتئین محلول نمونه‌ها در طی فرآیند تخمیر افزایش یافته است که این مشاهده ممکن است به دلیل تبدیل پروتئین‌ها با ساختار پیچیده به ترکیبات پروتئینی ساده‌تر باشد که باعث شده است مقدار پروتئین بالاتر اندازه‌گیری شود. Zannin و همکاران (۲۰۱۸) نیز اثر تخمیر ماست بر پایه آرد کینوا به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد را بر تغییرات pH و اسیدیته مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نیز گزارش کردند که میزان پروتئین محلول نمونه‌ها در طی فرآیند تخمیر افزایش یافته است و دلیل اصلی افزایش میزان پروتئین محلول را در طی فرآیند تخمیر تغییرات pH و تولید اسید لاکتیک گزارش کردند (Zannini et al., 2018). Ankolekar و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی که بر روی تخمیر گلابی توسط لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس انجام دادند گزارش کردند که میزان پروتئین محلول در طی فرآیند تخمیر افزایش یافته است آن‌ها دلیل تغییرات پروتئین محلول اینگونه بیان داشتند که باکتری‌های اسید لاکتیک به منابع بیرونی نیتروژن وابسته هستند و ترشح پروتئینازهای غیر اختصاصی برای به‌دست آوردن این منبع ازت احتمالاً باعث آزادسازی پپتیدها می‌شود که باعث میزان اندازه‌گیری محتوای پروتئین می‌شود (Ankolekar et al., 2012). Apostolidis و همکاران

آن‌ها دلیل این امر را نیاز باکتری‌ها برای به‌دست آوردن نیتروژن از الیگوپپتیدها و اسیدهای آمینه از مسیر اصلی هیدرولیز پروتئین بیان کردند. علاوه بر این، لاکتوباسیلوس کازئی فعالیت پروتئولیتیک بالاتری را در زمان‌های ۳ و ۵ ساعت در مقایسه با لاکتوباسیلوس جنسونی نشان داد. این افزایش می‌تواند مربوط به فعال شدن دیپپتیدازها و تریپتیدازها باشد. همچنین مشخص شده است که گونه‌های لاکتوباسیلوس کازئی از ظرفیت بالاتری برای هیدرولیز کردن پپتیدهای کوچک و تولید گروه‌های آمین آزاد برخوردار هستند (Pérez-Escalante et al., 2018).

اثر تخمیر بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی (براساس مهار رادیکال DPPH و ABTS) عصاره کینوا

بعد از بررسی اثر تخمیر بر محتوای گروه‌های آمین آزاد فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های تخمیر شده (براساس مهار رادیکال آزاد DPPH و ABTS) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به‌صورت شکل زیر گزارش شد.

نتایج نشان دادند که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (مهارکنندگی رادیکال DPPH) در نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری تا ۴۸ ساعت اول فرآیند تخمیر افزایش یافت و از ۷/۸۰ درصد در زمان صفر به ۱۴/۵۶ درصد پس از ۴۸ ساعت تخمیر رسید. سپس با کاهش ۷ درصدی همراه بود. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال آزاد DPPH) در نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس تا ۲۴ ساعت اول تخمیر افزایش یافت و به ۹/۶۵ درصد رسید سپس کاهش یافت. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال DPPH) در نمونه تخمیر شده توسط ترکیبی از باکتری‌های فوق با نسبت ۵۰:۵۰ به ۱۱/۸۱ درصد در ۲۴ ساعت اول فرآیند تخمیر افزایش یافت سپس با ادامه فرآیند تخمیر از فعالیت آن کاسته شد.

براساس شکل ۵ میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی براساس مهار رادیکال آزاد ABTS در تمامی نمونه‌های تخمیر شده (توسط باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس به‌صورت جداگانه و ترکیبی) افزایش یافت. این میزان به‌ترتیب در نمونه‌های تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری، لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و ترکیب این دو باکتری به مقادیر ۳۴/۹۶، ۳۰/۳۶ و ۳۲/۹۷ درصد پس از ۷۲ ساعت تخمیر رسید. نتایج نشان دادند که باکتری لاکتوباسیلوس روتری توان پروتئولیتیک بالاتر، قابلیت بیشتری در تولید پپتیدهای آنتی‌اکسیدان دارند. محققین مختلف دلیل تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طول زمان را تغییرات pH بیان داشتند. از طرف دیگر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طول تخمیر می‌تواند به‌دلیل آزادسازی آگلیکون ایزوفلاون‌ها از طریق عمل کاتالیزوری فعالیت β -گلوکوزیداز و همچنین آنتی‌اکسیدان‌های درون سلولی میکروارگانیسم‌ها باشد (Wang et al., 2006). تحقیقات پیشین میزان

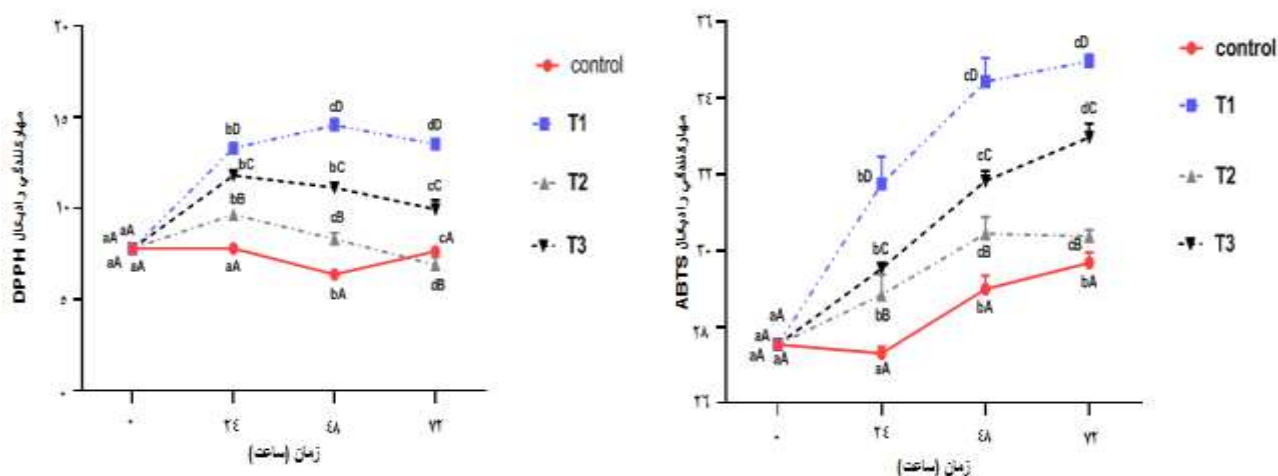
یکی از روش‌های متداول برای بررسی میزان تولید پپتیدهای زیست فعال فرآیند تخمیر می‌باشد و ارزیابی درجه هیدرولیز براساس میزان گروه‌های آمین آزاد به‌عنوان یک فاکتور مهم برای بررسی پپتیدهای تولید شده در طی فرآیند تخمیر می‌باشد. زیرا در طی فرآیند تخمیر پروتئین‌های کینوا توسط آنزیم‌های خارج از سلولی لاکتوباسیلوس‌ها هیدرولیز می‌شوند (باقری و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان دادند که میزان درجه هیدرولیز در تمامی نمونه‌ها اعم از تخمیر شده و تخمیر نشده (کنترل) در طی زمان‌های مختلف افزایش یافت. در نمونه کنترل (تخمیر نشده) این میزان گروه‌های آمین آزاد از ۲۰/۲۸ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین در ابتدا به ۳۰/۴۶ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین در ساعت پایانی رسید. میزان گروه‌های آزاد در نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری در طی فرآیند تخمیر افزایش یافت و به ۵۸/۱۴ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین پس از ۷۲ ساعت تخمیر رسید. میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس نیز با افزایش همراه بود ولی بیشترین تغییرات مربوط به ۲۴ ساعت اول تخمیر بود و از ۲۰/۲۸ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین در دقایق صفر به ۳۷/۶۷ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین رسید سپس با توقف روند همراه بود. میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه تخمیر شده توسط ترکیبی از باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس با نسبت ۵۰:۵۰ افزایش یافت به‌طوری که پس از ۷۲ ساعت تخمیر به ۶۳/۰۱ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین رسید. نتایج نشان دادند میزان پروتئولیز در باکتری لاکتوباسیلوس روتری بیشتر از لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس بود. که دلیل این امر را می‌توان به نیاز بیشتر این باکتری به اسیدهای آمینه ضروری مربوط دانست (Griffiths et al., 2013). علاوه بر آن نتایج نشان دادند که میزان پروتئولیز در نمونه تخمیر شده توسط ترکیب دو باکتری کمتر از نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری بود. دلیل این امر را می‌توان رقابت بین دو باکتری در ابتدای فرآیند تخمیر بیان داشت و این عامل می‌تواند دلیل پروتئولیز کمتر در نمونه تخمیر شده حاوی ترکیب دو باکتری را توجیه کند. ولی با ادامه فرآیند تخمیر، پروتئولیز افزایش یافته به‌طوری که تفاوت معناداری با نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری مشاهده نشده است. محققین مختلف دلیل افزایش میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه‌های تخمیری را آنزیم‌های پروتئاز موجود در میکروارگانیسم‌های زنده بیان داشتند که سبب تولید پپتیدهای زیست فعال در طی فرآیند تخمیر می‌شوند (Chen et al., 2007; Mizuno et al., 2005).

در تحقیقی که Pérez-Escalante و همکاران (۲۰۱۸) انجام دادند اثر تخمیر توسط باکتری‌های اسید لاکتیک بر فعالیت ضدترومبوتیک پروتئین شیر را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که بعد از ۱۰ ساعت تخمیر میزان گروه‌های آمین آزاد به‌طور معناداری افزایش یافت.

نگهداری بررسی کردند. نتایج نشان دادند. با افزایش زمان تخمیر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها افزایش یافته است. آن‌ها دلیل این امر را اینگونه بیان کردند که در شرایط pH اسیدی به علت پلیمرایزسیون ترکیبات پلی فنولی و همچنین آنزیم‌های باکتری‌های اسید لاکتیک پپتیدهای کوچک با فعالیت آنتی اکسیدانی ایجاد می‌گردد. نتایج ارائه شده در شکل ۵ نشان دادند که استفاده ترکیبی از دو باکتری لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (۵۰:۵۰) نه تنها سبب افزایش فعالیت پروتئولیز نشد بلکه در افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی نیز موثر نبود.

نتایج نشان دادند که پپتیدهای تولید شده از عصاره کینوا فعالیت مهارکنندگی رادیکال ABTS بالاتری نسبت به مهار رادیکال DPPH دارد که حاکی از ماهیت هیدروفیل بیشتر ترکیبات آنتی اکسیدان تولیدی می‌باشد. محققین تفاوت در مهار رادیکال‌های DPPH و ABTS را تفاوت در حلالیت و انتشار در محیط واکنش بیان داشتند. رادیکال‌های ABTS در محلول‌های آلی و آبی قابل حل هستند، اما رادیکال‌های DPPH فقط در محیط‌های آلی قابل حل می‌باشند (Afify et al., 2018).

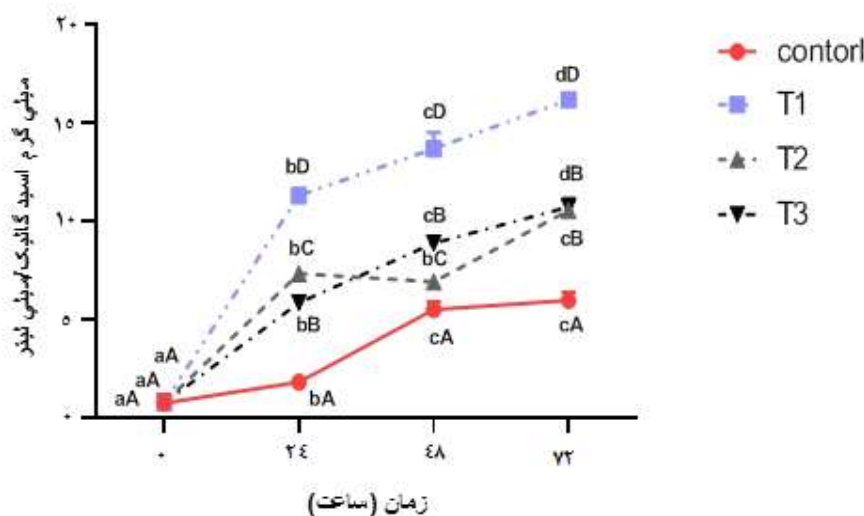
اسیدلاکتیک تولید شده و رشد و زنده‌مانی میکروارگانیسم‌ها را عامل اصلی تفاوت در میزان مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد در طی فرآیند تخمیر گزارش کردند. به عبارتی هرچه میزان اسیدلاکتیک تولید شده زنده‌مانی میکروارگانیسم‌ها بیشتر باشد، تجزیه دیواره سلولی بیشتر شده و در نهایت ترکیبات فنولی بیشتری آزاد می‌شوند در نتیجه سبب افزایش میزان فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد می‌گردد. علاوه بر این مشخص شده است که تناسب بالایی بین فعالیت‌های پروتئولیتیک میکروارگانیسم‌ها و میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در مواد غذایی وجود دارد (Shobharani et al., 2014). از طرف دیگر کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی براساس مهار رادیکال DPPH بعد از ۴۸ ساعت تخمیر را می‌توان به تجزیه توالی‌های آنتی اکسیدانی در طی فرآیند تخمیر نسبت داد. فعالیت آنتی اکسیدانی پپتیدها تحت تاثیر نوع اسید آمینه و توالی آن در ساختار پپتیدها می‌باشد. بطوری که میزان بالای اسیدهای آمینه هیدروفوب تاثیر به‌سزایی در مهار رادیکال‌های آزاد دارد (Kim et al., 2013). کرباسی و همکاران (۱۳۹۴) تولید نوشیدنی تخمیری بر پایه شیر خرم توسط باکتری لاکتوباسیلوس رامنوسوس را مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌ها به مدت ۲۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد تخمیر شدند سپس ترکیبات آنتی اکسیدانی طی ۱۲ روز



شکل ۵- مقایسه مهار رادیکال‌های DPPH و ABTS در نمونه‌های کینوا حاوی باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری (T1)، لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (T2) و لاکتوباسیلوس روتری+ لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (T3) در زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و مقایسه با نمونه کنترل (تخمیر نشده) حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین داده‌های هر تیمار در طی زمان و حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها در هر زمان می‌باشد ($p < 0.05$).

ترکیبات فنولی در نمونه‌ها مطابق فولین- سیوکالتیو، از منحنی استاندارد اسید گالیک در محدوده غلظت‌های ۱۰۰-صفر میلی‌گرم/ میلی‌لیتر استفاده شد. سپس میزان ترکیبات فنولی نمونه‌ها با روش فولین- سیوکالتیو اندازه‌گیری شد.

اثر تخمیر بر میزان ترکیبات فنولی نمونه‌های تخمیر شده
ترکیبات فنولی یکی از ترکیبات مهم در گیاهان می‌باشد که قادر به حذف رادیکال‌های آزاد می‌باشد لذا این ترکیبات به دلیل خواص آنتی اکسیدان‌شان بسیار مورد توجه می‌باشند. برای اندازه‌گیری مقدار



شکل ۶- مقایسه ترکیبات فنولی در نمونه‌های کینوا حاوی باکتری‌های لاکتوباسیلوس روتری (T1)، لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (T2) و لاکتوباسیلوس روتری + لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (T3) در زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و مقایسه با نمونه کنترل (تخمیر نشده) حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین داده‌های هر تیمار در طی زمان و حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها در هر زمان می‌باشد ($p < 0.05$).

آن‌ها نیز گزارش کردند که میزان ترکیبات فنولی در طی فرآیند تخمیر افزایش یافته است و دلیل این امر را اینگونه بیان داشتند که احتمالاً فرآیند تخمیر سبب تولید پپتیدهای کوچک و ترکیبات فنولی پلیمری از ترکیبات ساده فنولیک شده است. از طرف دیگر هر دو فعالیت آنتی‌اکسیدانی وابسته به رادیکال DPPH و مهار رادیکال ABTS در طول تخمیر افزایش یافته است، که نشان‌دهنده اثر مثبت ترکیبات فنولی می‌باشد (Apostolidis et al., 2007).

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های مطالعه حاضر می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که باکتری لاکتوباسیلوس روتری نسبت به لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس رشد سریع‌تری داشته است و در مدت زمان کوتاه به بالاترین میزان رشد رسیده است. از نظر سایر فاکتورهای مورد بررسی باکتری‌ها عملکردهای متفاوتی را از خود نشان دادند. میزان pH در تمامی نمونه‌های تخمیر شده (توسط لاکتوباسیلوس روتری، لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و ترکیب این دو باکتری) در طی فرآیند تخمیر کاهش یافته و از ۵ به ۴ رسیده است. بیشترین کاهش در میزان pH مربوط به نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس بود. نتایج نشان دادند که میزان اسیدیته در نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس نسبت به سایر نمونه‌ها افزایش داشته و از ۰/۲۷ به ۱/۱۳ درصد رسید. میزان پروتئین محلول و درجه هیدرولیز در نمونه‌های تخمیر شده توسط تمام گونه‌ها افزایش یافت. اما بیشترین افزایش

همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، میزان ترکیبات فنولی در تمامی نمونه‌های تخمیر شده توسط باکتری لاکتوباسیلوس روتری، لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و ترکیب این دو باکتری با نسب ۵۰:۵۰ از همان ابتدای فرآیند تخمیر روند افزایشی داشت و بالاترین میزان خود بعد از ۷۲ ساعت تخمیر رسیدند. نتایج نشان دادند که میزان ترکیبات فنولی در نمونه تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری نسبت به سایر نمونه‌ها افزایش بیشتری داشت. محققین دلیل افزایش ترکیبات فنولی در طی فرآیند تخمیر را اینگونه بیان داشتند که تخمیر سبب هیدرولیز ترکیبات فنولی گلیکوزیل و ایجاد ترکیبات فنولی آزاد می‌شود. از طرفی آنزیم‌های حاصل از باکتری‌ها من جمله بتاگلوکوزیداز در این واکنش‌های پیچیده نقش به‌سزایی دارند (جوانمردی و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعات مختلف نشان دادند که شرایط تخمیر، تاثیر بسزایی در تولید ترکیبات زیست فعال از جمله ترکیبات فنولی دارد و تغییرات pH را عامل اصلی افزایش ترکیبات فنولی در طی فرآیند تخمیر گزارش کردند. در واقع هرچه میزان pH به شرایط بهینه نزدیکتر باشد میزان ترکیبات فنولی در محصول نیز بیشتر است زیرا در شرایط pH بهینه، فعالیت میکروارگانیسم‌ها جهت آزادسازی آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی و به دنبال آن شکستن اتصال بین ترکیبات فنولی با قندها و یا گلیکوزیدها بیشتر است (Juan et al., 2010). در تحقیقی که Apostolidis و همکاران (۲۰۰۷) انجام دادند اثر فرآیند تخمیر شیر و شیر سویا توسط باکتری‌های لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس را طی ۲۴ ساعت مورد مطالعه قرار دادند.

کینوا تایید می‌کند و باکتری لاکتوباسیلوس روتری باکتری موثرتری در تخمیر و تولید پپتیدهای آنتی‌اکسیدان در مقایسه با لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس بود. استفاده همزمان از دو باکتری باعث افزایش شدت تخمیر و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با باکتری‌های تکی نشد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس و آزمایشگاه گیاهان دارویی جهت تامین امکانات آزمایشگاهی و از جناب آقای دکتر مهدی ملک‌پور به خاطر کمک‌های ارزشمندشان در انجام این پایان نامه قدردانی می‌گردد.

مربوط به نمونه تخمیر شده توسط باکتری لاکتوباسیلوس روتری بود به‌طوری که میزان پروتئین محلول از ۰/۷۲ به ۰/۸۸ میلی گرم پروتئین/ میلی لیتر رسیده است و میزان درجه هیدرولیز از ۲۰/۲۸ به ۵۸/۱۴ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین در طی ۷۲ ساعت تخمیر توسط این باکتری رسیده است. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی براساس مهار رادیکال‌های DPPH و ABTS در تمامی نمونه‌های تخمیری افزایش یافته است. بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب در نمونه‌های تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس روتری، ترکیب دو باکتری لاکتوباسیلوس روتری و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس (با نسبت ۵۰:۵۰) و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس مشاهده شد. نتایج نشان دادند که تخمیر توسط لاکتوباسیلوس روتری بیشترین تاثیر را در تولید پپتیدهای آنتی‌اکسیدانی و آزادسازی ترکیبات فنولی دارد. نتایج این تحقیق، کارایی روش‌های تخمیری را در بهبود خواص سلامت بخشی عصاره

منابع

- Apostolidis, E., Kwon, Y.-I., Ghaedian, R., Shetty, K., 2007. Fermentation of milk and soymilk by *Lactobacillus bulgaricus* and *Lactobacillus acidophilus* enhances functionality for potential dietary management of hyperglycemia and hypertension. *Food biotechnology* 21, 217-236.
- Abugoch, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M.C., Gajardo, P., Villarroel, A., 2009. Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. *International journal of food science & technology* 44, 2013-2020.
- Akpınar-Bayizit, A., Yilmaz-Ersan, L., Ozcan, T., 2010. Determination of boza's organic acid composition as it is affected by raw material and fermentation. *International Journal of Food Properties* 13, 648-656.
- Ankolekar, C., Pinto, M., Greene, D., Shetty, K., 2012. In vitro bioassay based screening of antihyperglycemia and antihypertensive activities of *Lactobacillus acidophilus* fermented pear juice. *Innovative food science & emerging technologies* 13, 221-230.
- Alfify, A.E.-M.M., El Baroty, G.S., El Baz, F.K., El Baky, H.H.A., Murad, S.A., 2018. Scenedesmus obliquus: Antioxidant and antiviral activity of proteins hydrolyzed by three enzymes. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 16, 399-408.
- Bagheri F, Mirdamadi S, Mirzaei M, Safavid M. 1398. Production of beneficial fermented milk by lactobacilli isolated from traditional Iranian dairy products. *Quarterly Journal of New Food Technologies*, 2: 255-243.
- Bianchi, F., Rossi, E., Gomes, R., Sivieri, K., 2015. Potentially synbiotic fermented beverage with aqueous extracts of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and soy. *Food Science and Technology International* 21, 403-415.
- Chung, Y.-C., Chang, C.-T., Chao, W.-W., Lin, C.-F., Chou, S.-T., 2002. Antioxidative activity and safety of the 50 ethanolic extract from red bean fermented by *Bacillus subtilis* IMR-NK1. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 2454-2458.
- Chen, G.-W., Tsai, J.-S., Pan, B.S., 2007. Purification of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides and antihypertensive effect of milk produced by protease-facilitated lactic fermentation. *International Dairy Journal* 17, 641-647.
- Ceballos-González, C., Bolívar-Monsalve, J., Ramírez-Toro, C., Bolívar, G.A., 2018. Effect of lactic acid fermentation on quinoa dough to prepare gluten-free breads with high nutritional and sensory quality. *Journal of Food Processing and Preservation* 42, e13551.
- Dallagnol, A.M., Pescuma, M., De Valdez, G.F., Rollán, G., 2013. Fermentation of quinoa and wheat slurries by *Lactobacillus plantarum* CRL 778: proteolytic activity. *Applied microbiology and biotechnology* 97, 3129-3140.
- Ebrahimi Jam S., Zarrin Qalami S., Ganjloo A. 1398. Production of gluten-free fermented beverage based on quinoa by probiotic bacteria, *Journal of Food Industry Research*, 1: 42-27.
- Fitznar, H.P., Lobbes, J.M., Kattner, G., 1999. Determination of enantiomeric amino acids with high-performance liquid chromatography and pre-column derivatisation with o-phthaldialdehyde and N-isobutyrylcysteine in seawater and fossil samples (mollusks). *Journal of Chromatography A* 832, 123-132.
- Griffiths, M.W., Tellez, A.M., 2013. *Lactobacillus helveticus*: the proteolytic system. *Frontiers in Microbiology* 4, 30.
- Izadi A., Zarrin Qalami S., Ganjloo A. 1396. Production of useful fermented beverage based on rice containing natural sweetener of honey. *Journal of Food Science and Technology*, Volume 62, Number 14, pp. 201-214.

- Juanmardi A, Labafi M, Khodanian F, Salehi A. 1395. Feasibility Study of Fermented Beverage Extraction from Red Beet Extract by Lactic Acid Bacteria, *Journal of Food Science and Technology* 56: 9-1.
- Juan, M.-Y., Chou, C.-C., 2010. Enhancement of antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content of black soybeans by solid state fermentation with *Bacillus subtilis* BCRC 14715. *Food microbiology* 27, 586-591.
- Karbasi M., Mousavi M., Yarmand M. S. 1394. Production and packaging of fermented beverage from date juice containing *Lactobacillus rhamnosus*, *Journal of Food Processing and Storage*, 2: 38-17.
- Khalili F, Erjaei Z. 1397. Effect of sourdough fermentation containing *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus ruteri* on sensory, physicochemical and stale properties of barley bread. *Journal of Food Science and Nutrition*, 3: 42 -33.
- Katina, K., Liukkonen, K.-H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.-M., Lampi, A.-M., Pihlava, J.-M., Poutanen, K., 2007. Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science* 46, 348-355.
- Kim, S.-K., 2013. Marine proteins and peptides: biological activities and applications. John Wiley & Sons.
- Lowry, O., Rosebrough, N., Farr, A., Randall, R., 1951a. Total protein estimation by Lowry's method. *J. Biol. Chem* 193, 265.
- Moayedi A, NikPayam M, Khomeiri M, Aghdai S. 1396. Antibacterial activity of hydrolyzed proteins obtained from enzymatic digestion of soy protein isolates on some food index bacteria. *Journal of Applied Microbiology in Food Industry*, 3: 31-22.
- Mizuno, S., Matsuura, K., Gotou, T., Nishimura, S., Kajimoto, O., Yabune, M., Kajimoto, Y., Yamamoto, N., 2005. Antihypertensive effect of casein hydrolysate in a placebo-controlled study in subjects with high-normal blood pressure and mild hypertension. *British Journal of Nutrition* 94, 84-91.
- Magala, M., Kohajdova, Z., Karovičová, J., Greifova, M., Hojerova, J., 2015. Application of lactic acid bacteria for production of fermented beverages based on rice flour. *Czech Journal of Food Sciences* 33, 458-463.
- Mirzaei, M., Mirdamadi, S., Ehsani, M.R., Aminlari, M., 2018. Production of antioxidant and ACE-inhibitory peptides from *Kluyveromyces marxianus* protein hydrolysates: Purification and molecular docking. *Journal of Food and Drug Analysis* 26, 696-705.
- National Standard No. 11117. 1989. Fermented Milks - Kefir Drink - Characteristics and Test Methods.
- Pérez-Escalante, E., Jaimez-Ordaz, J., Castañeda-Ovando, A., Contreras-López, E., Añorve-Morga, J., González-Olivares, L.G., 2018. Antithrombotic activity of milk protein hydrolysates by lactic acid bacteria isolated from commercial fermented milks. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 61.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine* 26, 1231-1237.
- Rathore, S., Salmerón, I., Pandiella, S.S., 2012. Production of potentially probiotic beverages using single and mixed cereal substrates fermented with lactic acid bacteria cultures. *Food Microbiology* 30, 239-244.
- Sade Miri S, Lari H, Arab A. 1394. Measurement of total anthocyanin phenol and antioxidant activity in pericarb of pumpkin fruit of Qazvini cultivar Cucurbita pepo L.var squash. National Conference on New Topics in Agriculture, 3: 275-267.
- Souri A, Mirzaei M, Mirdamadi S. 1397. Evaluation of the antioxidant effect of green tea leaf extract on the survival of probiotic bacteria in watermelon juice. *Journal of Food Science and Technology*, 85: 86-73.
- Sharma, N., Singh, N., Singh, O., Pandey, V., Verma, P., 2011. Oxidative stress and antioxidant status during transition period in dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 24, 479-484.
- Shobharani, P., Nanishankar, V., Halami, P., Sachindra, N., 2014. Antioxidant and anticoagulant activity of polyphenol and polysaccharides from fermented *Sargassum* sp. *International journal of biological macromolecules* 65, 542-548.
- Saadi, S., Saari, N., Anwar, F., Hamid, A.A., Ghazali, H.M., 2015. Recent advances in food biopeptides: Production, biological functionalities and therapeutic applications. *Biotechnology advances* 33, 80-116.
- Sezgin, A.C., Sanlier, N., 2019. A new generation plant for the conventional cuisine: quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). *Trends in Food Science & Technology*.
- Wright, K., Pike, O., Fairbanks, D., Huber, C., 2002. Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of Food Science* 67, 1383-1385.
- Wang, Y.-C., Yu, R.-C., Chou, C.-C., 2006. Antioxidative activities of soymilk fermented with lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Food microbiology* 23, 128-135.
- Wang, X., Yu, H., Xing, R., Chen, X., Liu, S., Li, P., 2017. Optimization of the extraction and stability of antioxidative peptides from mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) protein. *BioMed research international* 2017.
- Zannini, E., Jeske, S., Lynch, K.M., Arendt, E.K., 2018. Development of novel quinoa-based yoghurt fermented with dextran producer *Weissella cibaria* MG1. *International journal of food microbiology* 268, 19-26.



Effect of fermentation by *Lactobacillus reuteri* and *Lactobacillus acidophilus* on antioxidant activity of quinoa extract

R. Tahmasbi¹, M. Mirzaei^{2*}, M. R. Khani²

Received: 2020.08.26

Accepted: 2020.10.21

Introduction: Fermented foods, probiotic, prebiotics, and symbiotic, are among the most important groups of functional food that have attracted the attention of researchers during the last years. Proteolytic activity of lactic acid bacteria can lead to the production of peptides in the fermented product. The produced peptides can exhibit different biological activities such as antioxidant, antihypertensive, etc. that are influenced by the type of protein source, type of bacteria, time and conditions of fermentation process. Fermentation of various cereals such as quinoa seeds with high sugar and protein content by lactic acid bacteria can lead to the production of antioxidant peptides and improving their nutritional properties.

Materials and Methods: In this study, the role of *Lactobacillus reuteri* and *Lactobacillus acidophilus* and the combination of two bacteria on the progress of fermentation and antioxidant activity of quinoa extract was investigated. The fermentation process was started by separate and simultaneous inoculating of *Lactobacillus reuteri* and *Lactobacillus acidophilus* and continued for 72 hours at 37° C. Sampling was performed every 24 hours of fermentation and samples were kept at -20° C for further analysis. The parameters such as pH, acidity, amount of soluble protein, degree of hydrolysis, amount of phenolic compounds and DPPH and ABTS radical scavenging activity were determined.

Results and Discussion: *Lactobacillus acidophilus* showed higher acidification capacity than *Lactobacillus reuteri*. The amount of acidity in the sample fermented by *Lactobacillus acidophilus* increased from 0.27 to 1.13 % after 72 hours, while this amount was measured as 0.80 % for sample fermented by *Lactobacillus reuteri*. The amount of soluble protein and the degree of hydrolysis increased in samples fermented by both species. However, the largest increase was related to the sample fermented by *Lactobacillus reuteri*, so that the amount of soluble protein increased from 0.72 to 0.88 mg / ml and the value of free amino groups increased from 20.28 to 58.14 µM leucin/ mg protein during 72 hours of fermentation. The DPPH and ABTS radical scavenging activity increased in all fermented samples. The highest antioxidant activity was observed in samples fermented by *Lactobacillus reuteri*, followed by a combination of two bacteria (50:50) and *Lactobacillus acidophilus*. The amounts of phenolic compounds increased in all fermented samples. However, the highest increase was related to the sample fermented by *Lactobacillus reuteri*, so that it increased from 0/73 to 16.21 mg Gallic acid / ml after 72 hours of fermentation. Therefore, the results showed that despite the higher acidifying power of *Lactobacillus acidophilus* in quinoa extract, but *Lactobacillus reuteri* exhibited higher proteolytic activity, more ability to produce antioxidant peptides and also release phenolic compounds during the fermentation process. Simultaneous use of the two bacteria did not intensify the proteolytic activity and antioxidant activity of peptides, and the greatest increase in acidity, proteolysis, and antioxidant activity occurred in the first 24 hours of fermentation. Fermented extracts showed higher ABTS radical inhibitory activity than DPPH radical inhibition, indicating the hydrophilic nature of most produced antioxidant compounds. The highest levels of antioxidant activity were observed in samples fermented by *Lactobacillus reuteri*, a combination of *Lactobacillus reuteri* and *Lactobacillus acidophilus* (50:50) and *Lactobacillus acidophilus*, respectively. The results showed that fermentation by *Lactobacillus reuteri* has the greatest effect on the production of antioxidant peptides and the release of phenolic compounds. The results of this study confirm the effectiveness of fermentation methods on improving the healing properties of quinoa extract and *Lactobacillus reuteri* was a more effective bacterium in fermentation and production of antioxidant peptides compared to *Lactobacillus acidophilus*. Simultaneous use of two bacteria did not increase the intensity of fermentation and did not improve the antioxidant activity compared to single use of each bacteria. Finally, the results of this study showed that fermentation of quinoa extract improves its antioxidant properties and has the potential to be used as a fermented beverage.

Keywords: Antioxidant activity, Fermentation, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus acidophilus*, Quinoa extract.

1 and 2. M.Sc and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(* Corresponding author; Email: mahtam86@gmail.com)



مقاله پژوهشی

بررسی خصوصیات کیفی و پروفایل اسید چرب پنیر سیاه‌مزگی غنی شده با روغن ماهی ریزپوشانی شده

انسیه نجات پیرسرای^۱ - اسحق زکی پور رحیم آبادی^{۲*} - آریا باباخانی^۳ - الهام امین پور دافچاهی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی ارزش تغذیه‌ای و پروفایل اسیدچرب پنیر سیاه‌مزگی غنی شده با اسیدهای چرب امگا-۳ روغن ماهی انجام گردید. برای این منظور، ابتدا پروسه ریزپوشانی کردن روغن ماهی با پروتئین آب پنیر با نسبت‌های ۱:۲ صورت پذیرفت و روغن ریزپوشانی شده در پروسه تولید پنیر سیاه‌مزگی به آن اضافه گردید. تیمارهای تحقیق شامل تیمار شاهد و تیمارهای حاوی روغن ریزپوشانی شده، به ترتیب تیمار ۱ (۵/۰ درصد) و تیمار ۲ (۱ درصد) بودند. در این تحقیق، بررسی پروفایل اسید چرب، شاخص‌های پراکسید، تیوباریتوریک اسید و همچنین آنالیز حسی انجام شد. مجموعاً تعداد ۲۲ نوع اسیدچرب در نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی شناسایی گردید. نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع در تیمارهای ۱ و ۲ به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۸۳ اندازه‌گیری گردید. محتوای ایکوزانئوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید به ترتیب در تیمار ۱ (۰/۰۹ و ۰/۱۶ درصد) و تیمار ۲ (۰/۱۶ و ۰/۴۷ درصد) به طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد (۰/۰۶ و ۰/۰۴ درصد) بود ($P < 0.05$). محتوای تیوباریتوریک اسید در تمامی نمونه‌ها بسیار پایین‌تر از حد مجاز آن بود. ارزیابی حسی نمونه‌های شاهد و تیمارهای غنی‌شده پنیر سیاه‌مزگی نشان داد که تمامی پنیرها از مطلوبیت کل قابل قبولی برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: پنیر سیاه‌مزگی، غنی‌سازی، آنالیز حسی، ریزپوشانی کردن

مقدمه

افراد می‌باشند. روغن ماهی بیماری‌های قلبی را به حداقل می‌رساند. مقدار تری‌گلیسیرید خون را کم می‌کند. تجمع پلاکت‌های خونی را کم می‌کند. سلامت مغز را تأمین کرده و برای بیماران مبتلا به ام‌اس^۴ (MS) مفید می‌باشد. مصرف منظم روغن ماهی باعث بهبود ورم مفاصل می‌شود. خطر پیشرفت سرطان سینه و سرطان روده بزرگ و سرطان پروستات را کاهش می‌دهد. مقادیر پایین و کم از اسید چرب امگا-۳ با افسردگی در ارتباط است (Kromhout et al., 2012). با توجه به فوائد متعدد این ترکیبات بسیار باارزش، بسیاری از جوامع علمی دنیا، توصیه‌هایی برای مصرف مقادیر حداقلی از روغن ماهی برای حفظ سلامت جامعه خود داشته‌اند. برای مثال: سازمان‌هایی نظیر انجمن قلب آمریکا (AHA)^۵ و جامعه بین‌المللی برای مطالعه در خصوص اسیدهای چرب و چربی‌ها (ISSFAL)^۶، پیشنهادها متفاوتی برای مصرف اسیدهای چرب EPA و DHA ارائه نموده‌اند که یکی از آخرین توصیه‌های آن‌ها، مصرف روزانه ۵۰۰ میلی‌گرم از این اسیدهای چرب می‌باشد. به همین سبب در توصیه‌های رژیم غذایی، افزایش مصرف

ماهی و سایر آبزیان از جمله مواد غذایی سرشار از پروتئین، چربی مفید، مواد معدنی و انواع ویتامین‌ها می‌باشند (Stancheva et al., 2010). مهم‌ترین خصوصیت آبزیان از لحاظ ارزش تغذیه‌ای، علاوه بر دارا بودن مقدار قابل توجهی پروتئین، حضور فراوان اسیدهای اسید چرب غیراشباع در چربی موجود در بافت آن‌هاست (Harlioğlu, 2012). چربی ماهی به عنوان منبع غنی از چربی‌های با زنجیره بلند از خانواده اسیدهای چرب امگا-۳ (n-3) شناخته شده است (Harlioğlu, 2012). اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ و امگا-۶ برای انسان بسیار ضروری هستند. بدن انسان قادر به سنتز این اسیدهای چرب نمی‌باشد و نیاز بدن به این اسیدهای چرب باید از طریق تغذیه برطرف می‌گردد (Jaczynski, 2008).

تحقیقات نشان داده‌اند که اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی خانواده امگا-۳ نظیر EPA و DHA که در روغن ماهی و آبزیان به وفور یافت می‌شوند دارای تاثیرات بسیار زیادی بر سلامت

4 Multiple sclerosis

5.American heart association

6.International society for the study of Fatty acids and lipids

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان.

(*)- نویسنده مسئول: e.zakipoor@guilan.ac.ir (Email:)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.87590

اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ مشاهده می‌گردد (Kolanowski and Laufenberg, 2006). از روش‌های مؤثر توصیه شده برای افزایش مصرف اسیدهای چرب بلند زنجیره امگا-۳، غنی‌سازی غذاها با روغن خالص ماهی می‌باشد، که البته با چالش‌هایی همراه می‌باشد. چالش اصلی در تولید این غذاها، مربوط به پایداری روغن ماهی است (Kolanowski and Laufenberg, 2006).

شیر و محصولات لبنی نقش مهمی در تغذیه انسان دارند. پنیر متنوع‌ترین محصول به‌دست آمده از شیر می‌باشد که در نقاط مختلف جهان، صدها نوع از آن با شکل و طعم متفاوت و با روش‌های تولید گوناگون ساخته می‌شود. در ایران نیز انواع مختلفی از پنیرها تولید می‌گردد. پنیر سیاه‌مزی یکی از انواع پنیرهای سنتی رسیده ایران می‌باشد که در استان گیلان و در مناطق بیلاقی این استان تولید شده و طرفداران خاص خود را در منطقه شمال کشور و استان‌های مجاور دارد (Partovi, 2014). پنیر یک ماده غذایی غنی از انواع مواد مغذی ضروری از جمله پپتیدهای زیست‌فعال، اسیدهای آمینه، چربی‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد (Walther et al., 2008). علیرغم ارزش غذایی بسیار بالای محصولات لبنی، این محصولات دچار کمبودهایی نیز می‌باشند. برای مثال در بررسی پروفایل اسیدهای چرب محصولات لبنی مشخص گردیده‌است که محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در آن‌ها بسیار پایین است (Ganesan et al., 2011). پنیر به‌عنوان ماتریکسی غذایی، برای انتقال و تحویل اجزای عملکردی از جمله پروبیوتیک‌ها، پپتیدهای زیست‌فعال و اسیدهای چرب پیشنهاد شده است (Hayes et al., 2006). محصولات لبنی مانند پنیر و کره، سیستم‌های خوبی برای انتقال و تحویل سطوح بالای اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ هستند (Kolanowski and Weißbrodt, 2007).

امروزه مصرف کنندگان به‌طور قابل توجهی به غذاهای کاربردی (عملکردی) علاقه‌مند گردیده‌اند. این غذاها با مواد زیست‌فعال (ویتامین‌ها، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، اسیدهای چرب امگا-۳، عصاره‌های گیاهی، پروبیوتیک‌ها و غیره) غنی‌سازی شده و فواید سلامتی آن‌ها به اثبات رسیده‌اند (Agustin et al., 2010). غنی‌سازی محصولات غذایی با اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ به‌عنوان روشی ابتکاری برای ارائه مزایای سلامتی به افراد بدون تغییر در عادات غذایی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (Grag et al., 2006). از جمله تحقیقاتی که در زمینه غنی‌سازی محصولات لبنی با انواع مواد مغذی و بیواکتیو انجام شده‌است می‌توان به تحقیقات Ye و همکاران (۲۰۰۹) در غنی‌سازی پنیر با روغن ماهی، Bermúdez-Aguirre و Barbosa-Cánovas (۲۰۱۱) در بررسی غنی‌سازی انواع پنیرها با روغن‌های گیاهی و جانوری، Tamjidi و همکاران (۲۰۱۱) در

غنی‌سازی ماست با روغن ماهی، Hughes و همکاران (۲۰۱۲) در غنی‌سازی پنیر بز با روغن ماهی، Farbod و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی غنی‌سازی پنیر فتا با روغن ماهی و روغن زیتون، Stratulat و همکاران (۲۰۱۵) در غنی‌سازی پنیر با ویتامین D و روغن ماهی، Hejazian و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی پنیر غنی شده با روغن ریزپوشانی شده ماهی کیلکا و Jamshidi و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص بهینه‌سازی پروسه ریزپوشانی هیدرولایزات پروتئین ماهی و روغن ماهی با استفاده از امولسیون دوگانه W1/O/W2 و بررسی تاثیر آن بر کیفیت حسی ماست غنی شده، اشاره نمود.

همان‌طور که اشاره گردید، برخی از مطالعات فوق به بررسی تاثیر غنی‌سازی برخی از انواع پنیرها با روغن ریزپوشانی شده ماهی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیقات و بررسی پروفایل اسید چرب بیان‌گر وجود اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ (نظیر EPA^۱ و DHA^۲) در محصول نهایی بوده است. به‌هرحال با توجه به حساسیت اسیدهای چرب بلند زنجیره به اکسیداسیون حرارتی و از بین رفتن برخی از چربی‌های ماهی در جریان تولید، این مطالعات به تمامی جنبه‌ها در بررسی پروفایل اسید چرب پنیر و پروفایل اسید چرب بخش آب پنیر اشاره‌ای نداشته و همچنین تاثیر اکسیداسیون بر پروفایل اسید چرب پنیر، در آن‌ها بررسی نگردیده است. از طرفی، مطالعه‌ای جهت بررسی امکان غنی‌سازی انواع پنیرهای بومی ایران صورت پذیرفته است. لذا تحقیق حاضر به بررسی این‌که آیا غنی‌سازی پنیر سیاه‌مزی با روغن ریزپوشانی شده ماهی، سبب بهبود پروفایل اسید چرب محصول خواهد گردید، می‌پردازد و تغییرات ارگانولپتیک محصول نهایی ناشی از افزودن روغن ماهی و ترکیبات اکسیداسیونی نیز مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق ابتدا اقدام به ریزپوشانی کردن روغن ماهی تهیه شده گردیده، از شیر گاو محلی برای تولید پنیر سیاه‌مزی طبق دستورالعمل استفاده گردید. در ادامه در مرحله دلمه بستن شیر، اقدام به اضافه کردن روغن ریزپوشانی شده در پنیر تولیدی بر اساس تیمارهای تحقیق گردید. تیمارهای تحقیق عبارت از: ۱- تیمار شاهد، ۲- تیمار حاوی ۰/۵ درصد روغن ماهی ریزپوشانی شده و ۳- تیمار ۱ درصد بودند. پروفایل اسید چرب، هم در نمونه‌های آب پنیر و هم در نمونه‌های پنیر مورد بررسی قرار گرفتند. از آنجایی که به‌طور مرسوم، آب پنیر حاصله دور ریخته می‌شود، به‌منظور بررسی وضعیت اسیدهای چرب موجود در آن، کار استخراج روغن و بررسی پروفایل اسید چرب آب پنیر بلافاصله بعد از تولید پنیر انجام گردید. اما با توجه به این‌که، پنیر سیاه‌مزی بعد از ۶۰ روز رسیده و آماده مصرف می‌گردد، استخراج چربی

طبق دستورالعمل مرسوم تولید پنیر سیاه‌مزی، اقدام به تولید این پنیر گردید. ابتدا شیر (گاو محلی) از روستاهای شهرستان شفت تهیه گردید و در اسرع وقت (ظرف مدت ۲ ساعت) تحت شرایط بهداشتی به منزل یکی از روستاییان منتقل گردید. شیرها ابتدا به مدت ۵ یا ۱۰ دقیقه جوشانده شدند تا باکتری‌ها و مواد آلوده‌کننده احتمالی موجود در آن از بین بروند. در ادامه، شیر بر اساس تیمارها به سه بخش با سه تکرار تقسیم گردیدند. برای هر تیمار ۱۰۰۰ گرم شیر اختصاص یافت. بعد از جوشیدن شیر و ولرم شدن آن، مایه مخصوص پنیر (مایه پنیر صنعتی انزیمکس، ساخت اروپا، بسته‌بندی شده تحت لیسانس توسط آنزیم‌های صنعتی ایران) به میزان ۵ گرم اضافه گردید، روند دلمه بستن پنیر به مدت ۱ تا ۲ دقیقه بعد از اضافه کردن مایه پنیر صورت پذیرفت. برای بهبود دلمه بستن، چندین بار محلول شیر و مایه پنیر هم زده شد. به محض شروع اولین نشانه‌های دلمه بستن، روغن ریزپوشانی شده به صورت پودری و بر اساس میزان تعیین شده برای تیمارهای تحقیق (یعنی ۰/۵ و ۱/۰ درصد از شیر مصرفی) به پنیرها اضافه گردید. هم‌زدن چندین باره شیر در پروسه دلمه بستن، سبب پخش یکنواخت پودر روغن ریزپوشانی شده در پنیر می‌گردید. بعد از گذشت زمان و بسته شدن نسبی پنیر، شروع به فشردن پنیر گردیده و آب پنیر خارج شده و محصول به شکل قالب‌های ۱۰۰ گرمی درآورده شدند. به پنیرها به مقدار مشخص نمک (۵-۶ گرم) اضافه شد و در ظروف یکبار مصرف در بسته‌های زیپ‌کیپ به مدت ۲ ماه در یخچال نگهداری شد تا کاملاً رسیده شوند.

روش استخراج چربی

جهت استخراج چربی برای آنالیز پروفایل اسیدچرب از روش Bakar و همکاران (۲۰۰۸) به شرح زیر استفاده گردید. مقدار ۲۰ گرم پنیر را درون لوله ریخته و ۲۰ میلی‌لیتر کلروفرم و ۴۰ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه کرده و حدود ۲ دقیقه مخلوط گردید. سپس ۲۰ میلی‌لیتر کلروفرم به لوله اضافه کرده و ۳۰ ثانیه مخلوط گردید. سپس به محتویات لوله مقدار ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه کرده و به مدت ۳۰ ثانیه دیگر مخلوط گردید. در نهایت محلول را در دکانتر ریخته به مدت ۲۴ ساعت در محیط تاریک قرار گرفت تا فازبندی گردد. ۲ فاز تشکیل می‌گردد که فاز بالایی شامل متانول و آب مقطر است و فاز پایینی شامل چربی و کلروفرم بود. فاز پایینی از دکانتر خارج شده و پس از عبور از کاغذ صافی به بشر منتقل گردید. محلول نهایی شامل کلروفرم و چربی در درون آون در دمای ۳۰ درجه قرار گرفت تا کلروفرم آن تبخیر شود.

و بررسی پروفایل اسید چرب آن بعد از ۲ ماه صورت پذیرفت. خصوصیات شیمیایی در روزهای صفر، ۳۰ و ۶۰ و آنالیز حسی در روز ۶۰ انجام گردید.

روش ریزپوشانی کردن روغن ماهی

برای این منظور ابتدا پودر پروتئین آب پنیر (German Prot, WPC 80 instant, Germany) با محتوای پروتئینی ۷۵ درصد (WHC 75) تهیه شد. جهت آماده‌سازی امولسیون و ریزپوشانی روغن ماهی، ابتدا محلول ۳۰ درصد (وزنی/وزنی) پودر پروتئین آب پنیر با افزودن مقادیر مناسب آب دیونیزه در دمای اتاق و با استفاده از یک همزن مغناطیسی تهیه گردید. برای خروج حباب‌های هوا در داخل محلول تهیه شده، از هموژنایزر استفاده گردید. سپس به مدت یک شبانه روز در یخچال نگهداری گردیده تا حداکثر جذب آب توسط مولکول‌های پروتئینی پودر آب پنیر صورت پذیرد. برای تهیه امولسیون مناسب، روغن ماهی آزاد (NUGALE Pharmaceutical Inc. Canada)، به‌ترتیب حاوی ۱۸۰، ۱۲۰ و ۳۶ میلی‌گرم در ۱۰۰۰ گرم روغن EPA، DHA و DPA^۱، به نسبت ۵۰ درصد وزن پودر پروتئین آب پنیر به محلول دیواره (با توجه به مقدار پودر پروتئینی آب پنیر استفاده شده برای تهیه محلول ۳۰ درصدی) در حالت به‌هم خوردن (با سرعت ۳۵۰۰ rpm و به مدت ۲ دقیقه) به آن اضافه شد. pH محلول در انتهای این مرحله سریعاً اندازه‌گیری گردید. تا این مرحله از کار از روش Safari و همکاران (۲۰۱۲) با تغییراتی برگرفته شده از مقاله Rosenberg و Young (۱۹۹۳) استفاده گردید. در ادامه برای امولسیون کردن و تولید روغن ریزپوشانی شده، از دستگاه اولتراسوند در دامنه نوسان ۸۰ درصد به مدت ۲/۵ دقیقه برای هموژن کردن امولسیون محلول آماده شده در مرحله قبل استفاده گردید. در هر بار هموژن کردن با دستگاه اولتراسوند، ۱۵۰ سی‌سی محلول مورد استفاده قرار گرفته، محلول در ظروف شیشه‌ای ۲۵۰ سی‌سی قرار داده شده و برای ثابت نگه‌داشتن دما در حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد، ظرف شیشه‌ای با فویل آلومینیومی به خوبی بسته شد (Daniel Estrada Andino, 2007). در ادامه نمونه به مدت ۲۴ ساعت در فریزر منفی ۷۰ درجه سانتی‌گراد منجمد شده و با دستگاه خشک کن انجمادی در دمای منفی ۴۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۰/۷ میلی‌بار به مدت ۷۲ ساعت خشک می‌گردند. نمونه پودر شده در ظروف کاملاً تیره در بسته فریزر تا زمان انجام تحقیق و بررسی آزمایشگاهی نگهداری گردیدند (Jafarpour et al., 2018).

تهیه پنیر سیاه‌مزی و اضافه کردن روغن ریزپوشانی شده

متیل استر کردن نمونه چربی و استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف برای آنالیز پروفایل اسید چرب

برای متیل استر کردن اسیدهای چرب از روش Firestone (۱۹۹۸) استفاده شد. ۵ میلی لیتر سود متانولی ۲٪ (۲ گرم NaOH در ۱۰۰ گرم متانول) به چربی استخراج شده اضافه گردید. سپس درب ظرف بسته و به شدت تکان داده شد و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. پس از خنک شدن محلول، ۳ میلی لیتر محلول BF_3 (تری بورفلوراید) به ترکیبات فوق اضافه شد و به مدت ۳-۲ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. به مواد حاصل، ۱ میلی لیتر هگزان نرمال اضافه شده و بعد از تکان دادن مواد به آن ۱ میلی لیتر محلول نمک اشباع (۳۰۰ گرم NaCl در ۱ لیتر آب مقطر) اضافه گردید. محلول به دست آمده به شدت تکان داده شد و در جایی ساکن، مستقر گردید. بعد از پدیدار شدن دو فاز جداگانه، فاز بالایی به دقت جدا گردید.

برای بررسی و شناسایی اسیدهای چرب موجود در نمونه از دستگاه گاز کروماتوگراف فیلپس (Philips, Netherland) مجهز به ستون کاپیلاری و آشکارساز نوع یونیزاسیون شعله ای (FID) استفاده شد. ۰/۲ میکرولیتر از نمونه استری شده با استفاده از سرنگ میکرولیتری به دستگاه گاز کروماتوگراف تزریق شد. دمای اولیه ستون روی ۱۶۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد. بعد از مدت ۵ دقیقه، دمای ستون با سرعت ۲۰ درجه در دقیقه به ۱۸۰ درجه رسانده شد. به مدت ۱۰ دقیقه، دما در این درجه باقی مانده و سپس با سرعت ۱ درجه سانتی گراد در دقیقه به دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد رسید. پس از یک دقیقه، دمای ستون با سرعت ۳۰ درجه سانتی گراد در دقیقه تا دمای ۲۳۰ درجه افزایش یافت. در انتها، ستون به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۳۰ درجه سانتی گراد باقی ماند. از گاز هلیوم (با خلوص ۹۹/۹۹ درصد) به عنوان گاز حامل استفاده گردید. از مقایسه زمان بازداری پیکهای مجهول کروماتوگرام با پیکهای به دست آمده از محلول های استاندارد اسیدهای چرب، برای شناسایی اسیدهای چرب استفاده گردید.

آزمون های شیمیایی

برای اندازه گیری مقدار پراکسید^۱ (PV) از روش (Egan et al., 1997) استفاده گردید. برای این منظور، ابتدا برای استخراج روغن از نمونه، از محلول کلروفرم استفاده شده و در ادامه به محلول، اسید استیک، یدور پتاسیم اشباع، آب مقطر و محلول نشاسته اضافه نموده و در نهایت با استفاده از تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تیتراسیون صورت می پذیرد. اندازه گیری مقدار تیوباربتوریک اسید^۲ (TBA) به روش رنگ سنجی و با استفاده از روش Namaulema و همکاران (۱۹۹۹) صورت پذیرفت. در این روش، پس از مخلوط کردن نمونه چرخ شده و به حجم رساندن نمونه با محلول ۱- بوتانل در یک ارلن ۲۵ میلی لیتری،

۵ میلی لیتر از نمونه برداشته شده و پس از قرار دادن در لوله های درب دار به مدت دو ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد در حمام آب قرار می گیرد. پس از سرد شدن نمونه، مقدار جذب (As) در طول موج ۵۳۰ نانومتر در مقابل شاهد آب مقطر (Ab) قرائت می گردد. مقدار TBA بر حسب میلی گرم مالون دی آلدئید در کیلوگرم بیان گردید. برای اندازه گیری رطوبت، نمونه ها به مدت یک شبانه روز در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند (AOAC, 2005). مقدار چربی کل نمونه با استفاده از دستگاه سوکسله و مقدار پروتئین کل با استفاده از روش کج لیدال اندازه گیری گردید (AOAC, 2005). محتوای خاکستر نمونه ها نیز پس از حرارت دیدن نمونه به مدت ۵ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد در کوره الکتریکی محاسبه گردید (AOAC, 2005).

ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی پنیرها از روش هدونیک ۹ نقطه ای استفاده گردید (Ranken et al., 1993). پس از تولید پنیرها، ویژگی های رنگ، عطر، طعم و مزه، ظاهر، بافت و مقبولیت کلی مورد سنجش قرار گرفت. سطوح ارزیابی از ۱ تا ۹ (شدیداً دوست ندارم=۱، خیلی دوست ندارم=۲، نسبتاً دوست ندارم=۳، کمی دوست ندارم=۴، نه دوست ندارم و نه دوست دارم=۵، کمی دوست دارم=۶، نسبتاً دوست دارم=۷، خیلی دوست دارم=۸، شدیداً دوست دارم=۹) مشخص گردید. نمونه ها با کدگذاری متفاوت در داخل یک ظرف در اختیار افراد ارزیاب قرار داده شد. از تعداد ۲۰ نفر از اساتید و دانشجویان گروه شیلات با نسبت جنسی ۵۰ به ۵۰ (خانم به آقا) و آشنا به موضوع ارزیابی حسی و پس از ارائه آموزش کوتاه، استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده های

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار Minitab، نسخه 18 انجام گردید. ابتدا نرمال بودن داده ها با آزمون کلموگراف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفته و به منظور بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها و همچنین تاثیر زمان نگهداری بر محتوای ترکیبات شیمیایی از روش تجزیه واریانس یک طرفه (One way ANOVA) و آزمون توکی (Tukey) در سطح ۵٪ استفاده گردید. جهت بررسی معنی داری شاخص های حسی نیز از آزمون غیرپارامتریک کروسکال والیس استفاده شد.

نتایج و بحث

پروفایل اسید چرب نمونه های آب پنیر و پنیر سیاه مزگی

پروفایل اسید چرب آب پنیر و پنیر سیاه مزگی در نمونه شاهد و نمونه های حاوی ۰/۵ و ۱ درصد روغن ریزپوشانی شده ماهی در جدول

۱ آورده شده است. در بخش آب پنیر نمونه‌های تیمار ۵/۰ و ۱ درصد، تعداد ۲۰ نوع اسید چرب شناسایی گردید و این در صورتی بود که در نمونه شاهد، محتوای اسیدهای چرب EPA و DPA صفر بوده و بخش آب پنیر نمونه شاهد فاقد این دو اسید چرب بوده است. مجموع اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی (PUFA)، محتوای اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ و همچنین نسبت اسیدهای چرب امگا-

۳ به امگا-۶ در تیمارهای ۵/۰ و ۱ درصد در مقایسه با نمونه شاهد بیش‌تر بودند. نکته قابل تامل در بررسی پروفایل اسید چرب نمونه‌های شاهد آب پنیر و پنیر سیاه‌مزی وجود اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در آن‌ها می‌باشد. نتایج متناقضی در این خصوص در مطالعات سایر محققین به چشم می‌خورد که می‌تواند ناشی از نوع شیر مصرفی برای تولید پنیر باشد.

جدول ۱- پروفایل اسید چرب نمونه‌های آب پنیر در روز تولید و پروفایل پنیر سیاه‌مزی ۲ ماه پس از تولید

اسیدهای چرب	پروفایل اسید چرب نمونه‌های آب پنیر			پروفایل اسید چرب نمونه‌های پنیر سیاه‌مزی		
	شاهد	تیمار ۵/۰ درصد	تیمار ۱ درصد	شاهد	تیمار ۵/۰ درصد	تیمار ۱ درصد
C8:0	۰/۷۸± ۰/۰۲ ^a	۰/۵۸± ۰/۰۴ ^a	۰/۷۶± ۰/۰۱ ^a	۵/۷۶± ۰/۰۸ ^A	۳/۷۲± ۰/۲۰ ^B	۱/۸۶± ۰/۳۷ ^C
C10:0	۱/۱۰± ۰/۰۱ ^a	۱/۰۷± ۰/۰۶ ^a	۱/۱۷± ۰/۰۱۵ ^a	۱/۳۷± ۰/۲۸ ^A	۰/۹۳± ۰/۰۶ ^A	۱/۰۱± ۰/۰۴ ^A
C14:0	۶/۱۴± ۰/۰۴ ^b	۶/۵۰± ۰/۰۴ ^a	۶/۲۲± ۰/۰۳ ^b	۵/۸۹± ۰/۰۴ ^A	۵/۶۳± ۰/۰۶ ^B	۵/۸۴± ۰/۰۴ ^A
C14:1	ND	ND	ND	۰/۷۷± ۰/۰۹ ^A	۱/۱۴± ۰/۰۰ ^A	۱/۱۲± ۰/۰۱۵ ^A
C15:0	۲/۳۰± ۰/۰۷ ^a	۱/۶۵± ۰/۰۱۳ ^a	۱/۹۴± ۰/۰۴۴ ^a	۰/۵۸± ۰/۰۳ ^B	۱/۲۲± ۰/۰۱ ^A	۱/۱۸± ۰/۰۱۶ ^A
C15:1	ND	ND	ND	۰/۳۲± ۰/۰۶ ^A	۰/۲۱± ۰/۰۶ ^A	۰/۲۲± ۰/۰۳ ^A
C16:0	۲۷/۷۰± ۰/۰۷ ^a	۲۸/۴۴± ۰/۴۵ ^a	۲۸/۱۶± ۰/۶۲ ^a	۲۶/۴۰± ۰/۱۱ ^A	۲۶/۲۸± ۰/۱۶ ^A	۲۶/۶۲± ۰/۲۷ ^A
C16:1	۱/۹۳± ۰/۰۲ ^a	۲/۰۲± ۰/۰۱ ^a	۲/۰۴± ۰/۰۵ ^a	۱/۸۶± ۰/۰۹ ^A	۱/۹۱± ۰/۰۴ ^A	۲/۶۰± ۰/۰۴۶ ^A
C17:0	۱/۰۳± ۰/۰۱ ^a	۱/۱۳± ۰/۰۲ ^a	۱/۰۸± ۰/۰۶ ^a	۱/۰۰± ۰/۰۲ ^A	۰/۹۸± ۰/۰۱ ^A	۱/۱۵± ۰/۰۱۸ ^A
C17:1	۰/۲۸± ۰/۰۱ ^a	۰/۲۹± ۰/۰۲ ^a	۰/۳۱± ۰/۰۰ ^a	۰/۳۳± ۰/۰۳ ^B	۰/۴۳± ۰/۰۱ ^{AB}	۰/۵۴± ۰/۰۴ ^A
C18:0	۱۵/۰۸± ۰/۰۹ ^{ab}	۱۴/۲۸± ۰/۱۱ ^b	۱۵/۳۳± ۰/۳۹ ^a	۱۳/۹۲± ۰/۲۳ ^A	۱۴/۶۳± ۰/۱۶ ^A	۱۴/۵۰± ۱/۱۵ ^A
C18:1 (n-9) c	۳۴/۸۷± ۰/۰۶ ^b	۳۴/۷۹± ۰/۱۳ ^b	۳۵/۵۹± ۰/۱۳ ^a	۳۳/۶۹± ۰/۵۳ ^B	۳۵/۲۰± ۰/۰۶ ^A	۳۴/۲۱± ۰/۲۸ ^{AB}
C18:1 (n-11) c	۱/۵۶± ۰/۰۵ ^a	۰/۷۴± ۰/۰۶ ^b	۰/۰۰± ۰/۰۰ ^c	۱/۳۱± ۰/۰۸ ^A	۰/۰۰± ۰/۰۰ ^B	۱/۲۱± ۰/۰۱ ^A
C18:2 (n-6) c	۳/۲۷± ۰/۰۷ ^b	۳/۷۰± ۰/۰۷ ^a	۳/۴۳± ۰/۰۶ ^{ab}	۲/۵۷± ۰/۳۸ ^A	۲/۸۷± ۰/۰۰ ^A	۲/۴۸± ۰/۰۴۵ ^A
C18:3 (n-6)	ND	ND	ND	۰/۱۵± ۰/۰۴ ^A	۰/۲۲± ۰/۰۰ ^A	۰/۲۳± ۰/۰۵ ^A
C18:3 (n-3)	۱/۷۷± ۰/۰۱ ^b	۱/۹۱± ۰/۰۲ ^a	۱/۷۴± ۰/۰۴ ^b	۱/۸۲± ۰/۰۴ ^A	۱/۷۲± ۰/۰۱ ^A	۱/۷۳± ۰/۰۸ ^A
C20:0	۲/۰۸± ۰/۰۴ ^a	۱/± ۰/۰۳ ^a	۱/۹۶± ۰/۰۲ ^a	۲/۲۰± ۰/۱۳ ^A	۲/۲۶± ۰/۰۱ ^A	۲/۲۴± ۰/۰۲۱ ^A
C20:1	۰/۲۵± ۰/۰۱ ^a	۰/۲۹± ۰/۰۳ ^a	۰/۰۰± ۰/۰۰ ^b	۰/۳۲± ۰/۰۰ ^A	۰/۳۲± ۰/۰۱ ^A	۰/۴۶± ۰/۰۲۷ ^A
C20:3 (n-3)	ND	ND	ND	۰/۰۰± ۰/۰۰ ^B	۰/۰۰± ۰/۰۰ ^B	۰/۰۷± ۰/۰۳ ^A
C20:5 (n-3) EPA	۰/۰۰± ۰/۰۰ ^b	۰/۰۷± ۰/۰۰ ^a	۰/۰۰± ۰/۰۰ ^b	۰/۰۶± ۰/۰۱ ^B	۰/۰۹± ۰/۰۱ ^{AB}	۰/۱۶± ۰/۰۴ ^A
C22:5 (n-3) DPA	۰/۰۰± ۰/۰۰ ^b	۰/۱۱± ۰/۰۱ ^a	۰/۰۹± ۰/۰۳ ^a	۰/۰۶± ۰/۰۱ ^B	۰/۱۳± ۰/۰۲ ^A	۰/۱۴± ۰/۰۱ ^A
C22:6 (n-3) DHA	۰/۰۸± ۰/۰۱ ^b	۰/۰۸± ۰/۰۱ ^b	۰/۲۴± ۰/۰۶ ^a	۰/۰۴± ۰/۰۱ ^C	۰/۱۷± ۰/۰۲ ^B	۰/۴۷± ۰/۰۲ ^A
ΣSFA	۵۶/۲۱	۵۶/۶۱	۵۶/۶۱	۵۷/۱۲	۵۶/۶۱	۵۴/۴۰
ΣMUFA	۳۸/۸۹	۳۸/۱۳	۳۷/۹۴	۳۸/۶۰	۳۹/۲۱	۴۰/۳۶
ΣPUFA	۵/۱۲	۵/۸۷	۵/۵۰	۴/۷۰	۵/۲۰	۵/۲۸
Σ n-3 PUFA	۱/۸۵	۲/۱۷	۲/۰۷	۱/۹۸	۲/۱۱	۲/۵۷
n-3/n-6 ratio	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۷۲	۰/۶۸	۰/۹۴

داده‌های جدول شامل میانگین ± انحراف معیار دو تکرار است. (n=۲)

حروف بزرگ (A,B,...) متفاوت در هر ردیف نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های پنیر سیاه‌مزی در سطح ۵ درصد می‌باشد.

حروف کوچک (a,b,...) متفاوت در هر ردیف نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های آب پنیر در سطح ۵ درصد می‌باشد.

ND: تشخیص داده نشدند.

در تحقیق صورت پذیرفته شده توسط Renuka و همکاران (۲۰۱۶) اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در نمونه شاهد مشاهده نگردیدند. همچنین، Hejazian و همکاران (۲۰۱۶) عنوان نمودند که شیر مورد استفاده در تحقیق آنها جهت تولید پنیر غنی‌سازی شده با روغن ماهی کیلکا، فاقد اسیدهای چرب EPA و DHA (اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳) بوده است. این در حالی است که در تحقیق Barbosa-Cánovas و Bermúdez-Aguirre (۲۰۱۱) اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در برخی از انواع پنیرهای مورد بررسی گزارش گردیده است. از آنجایی که بیش‌تر مطالعات انجام شده بر روی پروتئین آب پنیر، بر روی محصول و ترکیب پروتئین آن متمرکز می‌باشند، لذا امکان مقایسه این بخش از نتایج با سایر نتایج وجود نداشته است. در بررسی مقایسه‌ای پروفایل اسیدهای چرب، بین بخش آب پنیر و نمونه‌های پنیر سیاه‌مزی، تفاوت‌هایی مشاهده گردید. از جمله این که، محتوای اسیدهای چرب C20:5 (n-3)، C22:6 (n-3) و C22:5 (n-3) در نمونه پنیر سیاه‌مزی بیش‌تر از آب پنیر بوده است. در نمونه شاهد پنیر سیاه‌مزی بر خلاف نمونه آب پنیر آن، مقادیر اندکی C20:5 (n-3) و C22:5 (n-3) مشاهده گردید. تعداد بیش‌تری اسید چرب در پروفایل اسید چرب پنیر سیاه‌مزی مشاهده گردید. بخش آب پنیر فاقد اسیدهای چربی نظیر C14:1، C15:1، C18:3 (n-6) و C20:3 (n-3) بوده است. محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ و همچنین نسبت اسیدهای چرب n-3/n-6 نیز در نمونه‌های پنیر سیاه‌مزی در مقایسه با نمونه آب پنیر، بیش‌تر بود. اما در عوض محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره (PUFA) در نمونه‌های آب پنیر بیش‌تر بود. بررسی پروفایل اسید چرب روغن‌های استحصال‌ی از آب پنیر، نشان داد که بخشی از چربی موجود در شیر در جریان پروسه تولید پنیر، در ساختار پنیر حفظ نشده و با باقی ماندن در بخش آب پنیر، از دسترس خارج می‌گردد. در جدول ۱، همچنین پروفایل اسیدهای چرب پنیر سیاه‌مزی تولید شده در تیمار شاهد، تیمار ۰/۵ و ۱ درصد غنی شده با روغن ریزپوشانی شده ماهی مشاهده می‌گردد. مجموع اسیدهای چرب غیراشباع و اسیدهای چرب اشباع در تیمار ۰/۵ درصد، به ترتیب ۴۴/۴۱ و ۵۶/۶۱ گرم در ۱۰۰ گرم چربی و در تیمار ۱ درصد به ترتیب ۴۵/۶۴ و ۵۴/۴۰ گرم در ۱۰۰ گرم چربی بوده است. نسبت اسیدهای چرب PUFA/SFA، در تیمار ۰/۵ درصد ۰/۷۸ و این نسبت در تیمار ۱ درصد ۰/۸۳ بوده است. دپارتمان سلامتی انگلستان نسبت مناسب بین PUFA/SFA را بین ۰/۴۵ تا ۰/۷۲ تعریف نموده است (HMSO, 1994). در تحقیق حاضر، تفاوت معنی‌داری در محتوای اسید چرب C14:0 در بین تیمارها مشاهده گردید ($p < 0.05$)، بیش‌ترین مقدار C14:0 متعلق به تیمار شاهد فاقد روغن ماهی اضافه شده است. نتایج مشابهی توسط Hejazian و همکاران (۲۰۱۶) گزارش گردیده است. در محتوای اسید چرب C16:0

در تحقیق حاضر، تفاوت بین تیمارها، معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). در ارتباط با اسید چرب C18:0، نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید؛ اما با این حال، تیمار شاهد دارای کم‌ترین مقدار در بین تیمارها بود.

در ادامه بررسی پروفایل اسیدهای چرب تحقیق حاضر، می‌توان میزان اسیدهای چرب امگا-۳ که طی فرایند ریزپوشانی کردن به پنیرهای مورد نظر اضافه شده است را مورد بحث قرار داد. با توجه به غنی‌سازی روغن امگا-۳ در تحقیق حاضر، محتوای C18:3 در تیمارهای ۰/۵ درصد و ۱ درصد به ترتیب ۱/۷۲ و ۱/۷۳ درصد در ۱۰۰ گرم چربی بوده است. این مقادیر بسیار بیش‌تر از مقادیر گزارش شده توسط Hejazian و همکاران (۲۰۱۶) بوده است. در تحقیق ایشان، میزان این اسید چرب در تیمار حاوی ۱ و ۲ درصد روغن ریزپوشانی شده، به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۱۷ گرم در ۱۰۰ گرم چربی گزارش گردیده است. در بررسی اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در نمونه‌های مختلف پنیر سیاه‌مزی (نمونه شاهد و نمونه‌های غنی‌سازی شده)، مقادیر بیش‌تر اسیدهای چرب C20:3، C20:5، C22:5 و C22:6 در نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد (کنترل) مشاهده گردید. این تفاوت‌ها، حتی بین تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد غنی‌سازی هم مشاهده گردید و نمونه تیمار ۱ درصد دارای مقادیر بیش‌تری از این اسیدهای چرب در مقایسه با نمونه تیمار ۰/۵ درصد بود. تفاوت معنی‌داری در مقدار اسید چرب DHA بین تیمارها مشاهده گردید ($p < 0.05$). مقادیر بیش‌تر اسیدهای چرب بلند زنجیره چند غیراشباعی (PUFA) و همچنین مقادیر بیش‌تر اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ نیز در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (کنترل) مشاهده گردید. مقدار اسید چرب بلند زنجیره C20:5 (n-3، EPA) در تیمار ۰/۵ و ۱ درصد پنیر سیاه‌مزی به ترتیب ۳۳ و ۶۲ درصد بیش‌تر از نمونه شاهد پنیر سیاه‌مزی بوده است. مقدار دیگر اسید چرب بلند زنجیره این خانواده، یعنی C22:6 (n-3، DHA) نیز در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد به ترتیب ۴/۲۵ برابر و ۱۱/۷۵ برابر مقدار آن در نمونه شاهد بوده است. این نتایج بیان‌گر گیراندختن اسیدهای چرب مورد استفاده در پروسه تولید پنیر و به‌عبارتی انجام غنی‌سازی پنیر با روغن ماهی ریزپوشانی شده می‌باشد. گزارش‌های مشابهی از غنی‌سازی انواع مختلف پنیر با روغن ریزپوشانی شده ماهی و سایر روغن‌ها موجود می‌باشد. از جمله این مطالعات می‌توان به بررسی کیفیت انواع مختلف پنیرهای غنی شده با اسیدهای چرب امگا-۳ از منابع گیاهی و جانوری اشاره نمود. Bermúdez-Aguirre و Barbosa-Cánovas (۲۰۱۱) به موفقیت آمیز بودن کار غنی‌سازی انواع مختلف پنیرهای مورد مطالعه اشاره نموده‌اند. البته میزان موفقیت در پنیرهای مختلف و نوع روغن مورد استفاده متفاوت گزارش گردیده است. برای این موضوع، دلایل مختلفی از جمله مقادیر مختلف آب

به‌کار گرفته شده برای شستن پنیر که باعث اکسیده شدن روغن و از دست رفتن مواد مغذی پنیر می‌گردد، ذکر گردیده است. این محققین بیان نموده‌اند که میزان غنی‌سازی انواع مختلف پنیر خصوصاً پنیر چدار (Cheddar cheese) در حدی بوده است که مصرف متعادل روزانه (۵۰ تا ۱۰۰ گرم) آن بتواند در پیشگیری از بیماری‌های قلبی در افراد موثر واقع شود (Bermúdez-Aguirre and Barbosa-Cánovas, 2011). مقادیر افزایش یافته EPA و DHA در نمونه پنیر نرم تولیدی از شیر بز نیز توسط Hughes و همکاران (۲۰۱۲) گزارش گردیده است. مجموع محتوای این دو اسید چرب در تیمارهای غنی‌سازی شده پنیر فاقد اختلاف معنی‌دار بوده ولی این تیمارها با نمونه شاهد (کنترل) دارای اختلاف معنی‌دار بوده که نشان‌دهنده موفقیت‌آمیز بودن کار غنی‌سازی پنیر مذکور با روغن ماهی بوده است.

پراکسید (PV)

محصولات لبنی به‌طور کلی محصولات غذایی سالم بوده و در ضمن حاملین و ناقلین مناسبی برای انتقال اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در نظر گرفته می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که

محصولات لبنی حاوی روغن ماهی ممکن است تا حدود زیادی در ثبات اکسیداسیونی خود متفاوت باشند (Let et al., 2007; Riediger et al., 2009). روغن ماهی و سایر آیزیان به‌واسطه دارا بودن اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی نسبت به اکسیداسیون بسیار حساس می‌باشند. به سبب همین حساسیت بالا، در عمل‌آوری روغن ماهی و تولید غذاهای غنی شده با روغن ماهی بایستی نهایت دقت به‌عمل آید تا میزان اکسیداسیون به حداقل رسیده و محصول غذایی تا پایان دوره نگهداری دارای کیفیت مطلوب باشد. اندازه‌گیری محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیونی جهت بررسی کیفیت اکسیداسیونی محصول صورت می‌پذیرد. مقادیر پراکسید نمونه‌های پنیر سیاه‌مزی در روزهای صفر، ۳۰ و ۶۰ پس از تولید در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد، به استثنای محتوای پراکسیدها در روز صفر، اختلاف بین نمونه‌های پنیر در روزهای نگهداری، قابل ملاحظه و معنی‌دار نبوده است. محتوای پراکسیدها در تمامی تیمارهای تحقیق با افزایش زمان نگهداری، روند افزایشی داشت، اما باین‌حال عدد پراکسید در طول مدت نگهداری از حد مجاز تعیین شده (حداکثر ۲ میلی‌اکی-والان گرم در کیلوگرم) تجاوز نکرد (Partovi, 2014).

جدول ۲- مقادیر پراکسید (برحسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم چربی) در نمونه‌های پنیر سیاه‌مزی

روز نگهداری	تیمار شاهد	تیمار ۵٪ درصد	تیمار ۱ درصد
صفر	۰/۲۴۷ ± ۰/۰۰۰ Cc	۰/۶۴۷ ± ۰/۰۰۲ Ac	۰/۴۴۲ ± ۰/۰۰۱ Bc
۳۰	۰/۹۵۶ ± ۰/۰۲۱ Ab	۰/۹۶۲ ± ۰/۰۲۵ Ab	۰/۹۵۲ ± ۰/۰۵۳ Ab
۶۰	۱/۸۸۳ ± ۰/۰۵۰ Aa	۱/۸۲۱ ± ۰/۰۰۹ Aa	۱/۹۰۸ ± ۰/۰۲۱ Aa

داده‌های جدول شامل میانگین ± انحراف معیار است. (n=۳)

حروف بزرگ (A,B,...) در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

حروف کوچک (a,b,...) در هر ستون نشانه تاثیر زمان نگهداری بر محتوای پراکسیدها می‌باشد.

(Kolanowski and Weißbrodt, 2007). تکنولوژی ریزپوشانی کردن مزایای بسیار زیادی از جمله حفاظت روغن از اکسیژن و نور و همچنین پراکنش بهتر پودر روغن ریزپوشانی شده در ماده غذایی را برای غنی‌سازی انواع غذاها فراهم نموده است (Stratulat et al., 2015). مقادیر تقریباً برابر و بدون تفاوت معنی‌دار محتوای پراکسید در تیمارهای تحقیق حاضر، بیان‌گر تاثیرگذاری ریزپوشانی روغن ماهی در کاهش اکسیداسیون اسیدهای چرب بلند زنجیره روغن ماهی می‌باشد.

تیوباربیتوریک اسید (TBA)

شاخص TBA، میزان محصولات ثانویه اکسیداسیون به‌ویژه آلدهیدها را نشان می‌دهد. از تیوباربیتوریک اسید به‌طور گسترده به‌عنوان یک شاخص برای اندازه‌گیری درجه اکسیداسیون چربی در مطالعات بسیاری از محققان استفاده شده است (Fan et al., 2008;)

پراکسید، محصول اولیه اکسیداسیون مواد چرب است و به‌طور کلی هر قدر که درجه غیراشباعی روغن‌ها بیش‌تر باشد روغن‌ها و چربی‌ها آمادگی بیش‌تری را برای اکسیداسیون دارا می‌باشند. وقتی که میزان پراکسید به حد معینی برسد، تغییرات مختلفی در روغن‌ها و چربی‌ها صورت گرفته و مواد فرار آلدهیدی و کتونی که در ایجاد بو و طعم نامطلوب در مواد چرب مؤثرند، ایجاد می‌گردند. بدین جهت پراکسید تولید شده گرچه مستقیماً سبب بو و طعم نامطلوب در مواد چرب نیست، ولی معرف درجه پیشرفت اکسیداسیون می‌باشد (Razavi Shirazi, 2002). این ترکیبات عمر محدودی داشته و سرانجام اکسیده می‌شوند، هنگامی که این مسئله رخ می‌دهد، دوره اکسیداسیون کند پایان یافته و به دنبال آن افزایش سریع پراکسید یا اکسیداسیون سریع مشاهده می‌گردد (Hultin, 1994). بیان گردیده است که ریزپوشانی کردن روغن ماهی راهی بسیار مناسب و کارآمد برای محافظت آن در برابر اکسیداسیون و پوشش‌دهی طعم و عطر نامطلوب روغن ماهی می‌باشد

اکسیداسیون لیپیدها است که در طی آن پراکسیدها به آلدئید و کتون (Ozogul et al., 2008). وجود مواد واکنشی TBA به علت مقادیر تیوباریتوریک اسید در جدول ۳ آورده شده است. (Lindsay, 1991). مقادیر تیوباریتوریک اسید در

جدول ۳- مقادیر تیوباریتوریک اسید (میلی گرم مالون دی آلدئید در ۱۰۰۰ گرم پنیر) در نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی

روز نگهداری	تیمار شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد
صفر	۰/۰۴۰±۰/۰۰۶ Ab	۰/۰۳۹±۰/۰۰۰ Ab	۰/۰۳۹±۰/۰۰۰ Ab
۳۰	۰/۰۶۲±۰/۰۰۲ Ab	۰/۰۵۶±۰/۰۰۱ Ab	۰/۰۵۴±۰/۰۰۴ Aab
۶۰	۰/۰۸۷±۰/۰۰۷ Aa	۰/۰۸۹±۰/۰۰۷ Aa	۰/۰۷۰±۰/۰۰۴ Aa

داده‌های جدول شامل میانگین $\pm$ انحراف معیار است. (n=۳)

حروف بزرگ (A,B,..) در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد.

حروف کوچک (a,b,..) در هر ستون نشانه تاثیر زمان نگهداری بر محتوای تیوباریتوریک اسید می‌باشد.

بین نمونه‌های شاهد با نمونه‌های غنی‌سازی شده با روغن ماهی ریزپوشانی شده اشاره گردیده است که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیق Ye و همکاران (۲۰۰۹)، Hughes و همکاران (۲۰۱۲) و Stratulat و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) اشاره نمود. از جمله عوامل ذکر شده برای این موضوع، تاثیر پروسه ریزپوشانی کردن روغن ماهی بیان شده است که مانع تماس روغن با عوامل تاثیرگذار بر اکسیداسیون عنوان گردیده است (Stratulat et al., 2015). خاصیت حفاظتی پروتئین‌های شیر در خلال دلمه بستن پنیر و واکنش‌های متقابل بین پروتئین-چربی، نیز از عوامل موثر بر کاستن اکسیداسیون چربی ذکر گردیده است (Hughes et al., 2012)، که البته تاثیرگذاری آن بر پنیرهای مختلف با پروسه‌های مختلف تولید بررسی نگردیده است.

مقادیر ترکیبات شیمیایی

مقادیر ترکیبات شیمیایی پنیر سیاه‌مزگی در نمونه شاهد و نمونه‌های غنی شده با روغن ماهی در جدول شماره ۴ مشاهده می‌گردد.

جدول ۴- میانگین ترکیبات شیمیایی نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی (درصد) در روز تولید

ترکیب شیمیایی	تیمار شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد
پروتئین	۱۱/۹۳۷±۰/۴۴۸ b	۱۴/۵۳۰±۰/۰۰۰ a	۱۵/۴۸۰±۰/۰۰۰ a
چربی	۲۹/۹۰۷±۱/۱۳۶ a	۲۹/۹۱۰±۰/۰۲۴ a	۳۰/۴۵۳±۰/۲۲۰ a
رطوبت	۵۵/۵۴۸±۱/۰۴۵ a	۵۳/۰۸۱±۱/۷۷۰ ab	۵۱/۹۰۱±۱/۵۴۹ b
خاکستر	۲/۸۰۸±۰/۲۰۵ a	۲/۵۸۰±۰/۰۹۳ a	۲/۱۷۶±۰/۱۲۹ a

داده‌های جدول شامل میانگین $\pm$ انحراف معیار است. (n=۳)

حروف کوچک (a,b,..) در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد.

به کار گرفته شده در روکش روغن ریزپوشانی شده باشد. اگرچه تفاوت محتوای چربی در بین نمونه‌ها معنی‌دار نبوده ولی مقادیر بیش‌تری چربی در نمونه حاوی ۱ درصد روغن ریزپوشانی شده مشاهده گردید. Stratulat و همکاران (۲۰۱۵) نیز به محتوای بیش‌تر پروتئین و چربی

بر اساس نتایج جدول ۳، مقادیر تیوباریتوریک اسید برخلاف شاخص پراکسید در هر سه تیمار با گذشت زمان افزایش کمی را نشان داد. میزان TBA در تیمار ۰/۵ درصد نسبت به سایر تیمارها در پایان روز ۶۰ام افزایش بیش‌تری داشته است اما با این حال تفاوت معنی‌داری با دو تیمار دیگر نشان نداد ($p>0.05$). از آن‌جا که مالون دی آلدئید از تجزیه هیدروپراکسیدها به دست می‌آید، روزهای ابتدایی نگهداری مقدار آن پایین بوده است. اما پس از گذشت زمان که مقدار محصولات اولیه اکسیداسیون افزایش پیدا کردند شروع به تجزیه شدن کرده و مقدار تیوباریتوریک اسید افزایش می‌یابد. بررسی محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیونی (جدول ۲ و ۳) نشان داد که به استثنای محتوای پراکسیدها در روز صفر، اختلاف بین نمونه‌ها در روزهای نگهداری به لحاظ محتوای پراکسیدها و تیوباریتوریک اسید، معنی‌دار و قابل ملاحظه نبوده است. گزارش‌های مشابه متعددی در این زمینه وجود دارد که در آن‌ها به عدم تفاوت معنی‌دار در میزان تولیدات اکسیداسیونی

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد، اختلاف در محتوای پروتئین نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی قابل ملاحظه و معنی‌دار بوده است. بیش‌ترین میزان پروتئین در نمونه حاوی ۱ درصد روغن ریزپوشانی شده ماهی مشاهده گردید. علت این امر، می‌تواند استفاده از پروتئین آب پنیر

در نمونه‌های پنیر غنی شده با ویتامین D و روغن امگا-۳ اشاره داشته‌اند.

ارزیابی حسی پنیر سیاه‌مزی

همان‌طور که اشاره گردید، روغن ماهی و سایر آبزیان به‌واسطه دارا بودن اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی نسبت به اکسیداسیون بسیار حساس می‌باشند. استفاده مستقیم (بدون روکش شدن یا ریزپوشانی کردن) از روغن ماهی در غنی‌سازی مواد غذایی، علاوه بر

قابل تشخیص بودن بو و طعم روغن ماهی (Kolanowski and Laufenberg, 2006)، به‌واسطه تولید محصولات اکسیداسیونی، طعم نامطلوب اکسیده شدن نیز در محصول غذایی ایجاد می‌گردد (Kolanowski and Weißbrodt, 2007). به‌طور معمول برای بررسی تأثیرات عمل‌آوری‌های مختلف و ایجاد تغییر در پروسه تولید محصول و اثرگذاری آن بر بازارپسندی محصول نهایی، از ارزیابی حسی استفاده می‌گردد. نتیجه ارزیابی حسی نمونه شاهد و نمونه‌های غنی شده با روغن ریزپوشانی شده ماهی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- ارزیابی حسی پنیر سیاه‌مزی

شاخص حسی	تیمار شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد
رنگ	۷/۴۶±۰/۸۳ ^a	۷/۴۶±۰/۹۱ ^a	۸/۱۳±۰/۸۳ ^a
عطر	۷/۸۶±۰/۶۳ ^a	۷/۸۶±۰/۸۳ ^a	۷/۹۳±۰/۷۹ ^a
طعم و مزه	۷/۷۳±۰/۷۹ ^a	۷/۸۰±۰/۶۷ ^a	۷/۹۳±۰/۷۰ ^a
ظاهر	۷/۹۳±۰/۷۹ ^a	۷/۹۳±۰/۷۹ ^a	۸/۰۶±۰/۷۰ ^a
بافت	۷/۶۶±۰/۷۲ ^a	۷/۹۳±۰/۷۹ ^a	۷/۰۶±۰/۷۹ ^a
مقبولیت کلی	۷/۶۶±۰/۶۱ ^a	۷/۹۳±۰/۷۰ ^a	۸/۰۰±۰/۸۳ ^a

داده‌های جدول شامل میانگین ± انحراف معیار است.

حروف کوچک (a,b,...) در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Aguirre و Barbosa-Cánovas (۲۰۱۱) و Renuka و همکاران (۲۰۱۶) گزارش گردیده است. نتایج ارزیابی حسی Hejazian (۲۰۱۸) در تمامی تیمارها به لحاظ رنگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که در راستای این پژوهش می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر و بررسی پروفایل اسید چرب پنیر سیاه‌مزی نشان داد که پروسه غنی‌سازی این پنیر با روغن ریزپوشانی شده ماهی موفقیت آمیز بوده است. پروفایل اسید چرب نمونه‌های تیمار شده بهبود یافته و نسبت اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی و همچنین مجموع اسیدهای چرب غیراشباع افزایش نشان داد. علیرغم افزایش محصولات اکسیداسیونی در نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد، تمامی نمونه‌ها به لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ارزیابی حسی در وضعیت مطلوبی برای مصرف قرار داشتند. استفاده از پروسه روکش کردن یا ریزپوشانی کردن روغن ماهی، سبب گردید تا تولیدات اکسیداسیونی به حداقل میزان ممکن کاهش یافته و غنی‌سازی پنیر سیاه‌مزی با روغن بسیار باارزش ماهی تأثیر منفی بر خصوصیات حسی محصول نداشته باشد.

نتایج حاصل از ارزیابی حسی پنیرهای تولید شده با استفاده از ارزیابان حسی، نشان داد که تفاوت معنی‌داری در فاکتورهای رنگ، عطر، طعم و مزه، ظاهر و بافت بین تیمارها مشاهده نشد. نمونه‌های غنی‌سازی شده با روغن ریزپوشانی شده ماهی، مورد اقبال بیش‌تری قرار گرفتند. این امر می‌تواند به‌واسطه طعم مطلوب‌تر ناشی از افزودن روغن ماهی باشد. در مورد فاکتور رنگ، نمونه تیمار پنیر غنی‌سازی شده ۱ درصد مورد پذیرش بیش‌تری توسط آن‌ها قرار گرفت، که می‌تواند ناشی از رنگ زردتر این محصول در مقایسه با دو تیمار دیگر باشد. به‌طور کلی در مجموع امتیازاتی که به نمونه‌ها داده شده است، تیمار ۱ درصد مورد مقبولیت بیش‌تری نسبت به دو تیمار قرار گرفت. ارزیاب‌ها در ارزیابی حسی نمونه‌ها از نظر بافت، بو، طعم و مزه تفاوت معنی‌داری قائل نشدند ($p > 0.05$). در نمونه‌های غنی‌شده با توجه به اضافه کردن روغن امگا-۳ ریزپوشانی شده به‌درستی بو و طعم نامطلوب ماهی پوشش داده شد و در نمونه‌ها حس نامطلوبی را ایجاد نکردند. Ye و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که نمونه‌های پنیر غنی شده با روغن ماهی از نظر خصوصیات حسی با نمونه شاهد فاقد روغن ماهی اختلاف معنی‌دار آماری ندارد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. نتایج مشابهی از تأثیر مثبت پروسه ریزپوشانی کردن در حفاظت از روغن ماهی و ممانعت از ایجاد بو و طعم نامطلوب توسط Bermúdez-

منابع

- Augustin, M.A., Sanguansri, L. and Oliver, C.M. 2010. Functional properties of milk constituents: Application for microencapsulation of oils in spray-dried emulsions – A mini review. *Dairy Science and Technology*, 90: 137-146.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis (18th ed.). Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists International.
- Bakar, J., Zakipour Rahimabadi, E. and Che Man, Y.B. 2008. Lipid characteristics in cooked, chill-reheated fillets of Indo-Pacific king mackerel (*Scomberomorous guttatus*). *LWT – Food Science and Technology*, 41: 2144-2150.
- Bermúdez-Aguirre, D. and Barbosa-Cánovas, G. V. 2011. Quality of selected cheeses fortified with vegetable and animal sources of omega-3. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 1577-1584.
- Daniel Estrada Andino, J. 2007. Production and processing of a functional yogurt fortified with microencapsulation omega-3 and vitamin E. Master of Science Thesis, Louisiana State University.
- Egan, H., Kirk, R.S. and Sawyer, T.R. 1997. Pearson's chemical analysis of foods. 9th edition. Churchill Livingstone, Edinburgh, Scotland, UK. PP.609-643.
- Fan, W., Chi, Y. and Zhang, S. 2008. The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice. *Food Chemistry*, 108(1):148-153.
- Farbod, F., Kalbasi, A., Moini, S., Emam-Djomeh, Z., Razavi, H., Mortazavi, A. and Beheshti, H. R. 2013. The effects of storage time on physiochemical, rheological, microstructural and sensory properties of Feta cheese fortified with fish and olive oils. *Journal of Nutrition and Food Science*, 3(5): 2-8.
- Firestone, D. 1998. Official Methods and Recommended practices of the American Oil Chemists Society, 3: pp 1-62.
- Ganesan, B., Brothersen, C. and McMahon, D. J. 2011. Fortification of Cheddar cheese with vitamin D does not alter cheese flavor perception. *Journal of Dairy Sciences*, 94: 3708-3714.
- Grag, M.L., Wood, L.G., Singh, H. and Moughan, P. J. 2006. Means of delivering recommended levels of long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in human diets. *Journal of Food Science*, 71(5): 66-71.
- Harlioğlu, A.G. 2012. Fatty acid composition, fat soluble vitamins and cholesterol content of farmed rainbow (*Oncorhynchus mykiss*). *Pakistan Journal of Zoology*, 44(4): 1013-1019.
- Hayes, M., Coakley, M., O'sullivan, L., Stanton, C. and Fitzgerald, G. F. 2006. Cheese as a delivery vehicle for prpbiotics and biogenic substances. *Australian journal of Dairy Technology*, 61:132-141.
- Hejiazian, S. R. 2018. Investigation and production of functional cheese containing Caspian Kilka fish oil. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 78(15): 323- 332 [In Persian].
- Hejiazian, S. R., Hatami Takami, S. Z. and Ghanbari Shendi, E. 2016. Sensorial properties, chemical characteristics and fatty acids profile of cheese fortified by encapsulated KillKa fish oil. *Modern Applied Science*, 10(3): 208-213.
- HMSO.1994. Nutritional aspects of cardiovascular disease (report on health and social subjects' No. 46. London: HMSO.
- Hughes, B.H., Brian Perkins, L., Calder, B.L., and Skonberg, D.I. 2012. Fish oil fortification of soft goat cheese. *Journal of Food Science*, 77(2):s128-s133.
- Hultin, H.O. 1994. Oxidation of lipids in seafoods. In: Shahidi F and Botta JR. (Eds.), *Seafoods: chemistry, processing technology and quality*, Chapman & Hall, Boston, MA. 49-74.
- Jaczynski, J. 2008. Protein and lipid recovery from food processing by-products using isoelectric solubilization/precipitation. *Journal of Chemistry*, (5): 1-32.
- Jafarpour, S. A., Sharifi, E. and Hosseini, M. H. 2018. Evaluating the stability and controlling the oxidation rate of rainbow trout fish oil (*Oncorhynchus mykiss*) in nanocapsules containing clove essential oil (*Syzygium arimaticum*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26(6): 57-69 [In Persian].
- Jamshidi, A., Shabanpour, B., Pourashouri, P. and Raeisi, M. 2019. Optimization of encapsulation of fish protein hydrolysate and fish oil in W1/O/W2 double emulsion: Evaluation of sensory quality of fortified yogurt. *Journal of Food Processing and preservation*, 43(9): e14063.
- Kolanowski, W. and Weißbrodt, J. 2007. Sensory quality of dairy products fortified with fish oil. *International Dairy Journal*, 17(10):1248- 1253.
- Kolanowski, W. and Laufenberg, G. 2006. Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. *European Food Research and Technology*, 222: 472-477.
- Kromhout, D., Yasuda, S., Geleijnse, J. M. and Shimokawa, H. 2012. Fish oil and omega-3 fatty acids in cardiovascular disease: do they really work. *Journal of European Heart*, 33(4):436-443.
- Let, M. B., Jacobsen, C. and Meyer, A.S. 2007. Lipid oxidation in milk, yoghurt, and salad dressing enriched with neat fish oil or pre-emulsified fish oil. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 55: 7802-7809.
- Lindsay, R.C. 1991. Flavor of fish. Paper presented at 8th World Congress of Food science and Technology, 29th September-4th October, Toronto, Canada.
- Namaulema, A., Muyonga, J. H. and Kaaya, A. N. 1999. Quality deterioration in frozen Nile perch (*Lates niloticus*) stored at -13 and -27°C. *Food Research International*, 32(2): 151-156.
- Ozogul, Y., Ozogul, F., Cicek, E., Polat, A. and Kuley, E. 2008. Fat content and fatty acid composition of 34 marine water fish species from the Mediterranean Sea. *International Journal of Food Science Nutrition*, 60(6): 464-475.

- Partovi, R. 2014. Investigation of chemical and microbial properties of Siahmezgi cheese (traditional cheese of Guilan province) and separation of lactic acid bacteria using culture and analysis methods 16rDNA. Ph.D. Thesis. Tehran University [In Persian].
- Ranken, M.D., Kill, R.C. and Baker, C.G.J. 1993. Food industries manual. London: Blackie Academic and Professional.
- Razavi-Shirazi, H. 2002. Seafood Technology: Processing Science, Naghsh-e Mehr Publication, Tehran, Iran [In Persian].
- Renuka, V., Ramasamy, D. and Dhinesh Kumar, V. 2016. Fortification of omega-3 fatty acids in processed cheese spread. *International Journal of Science, Environment*, 5 (4):2557-565.
- Riediger, N. D., Othman, R. A., Suh, M., and Moghadasian, M. H. 2009. A systemic review of the roles of n-3 fatty acids in health and disease. *Journal of American Diet Association*, 109: 668-679.
- Rosenberg, M. and Young, S.L. 1993. Whey proteins as microencapsulating agents. Microencapsulation of anhydrous milkfat- Structure evaluation. *Food Structure*, 12 (1) :31-41.
- Safari, R., Valizadeh, R., Kadkhodaei, R., Alamolhodaei, N., Tahmasbi, A. and Naserian, A. 2012. Resistance of microencapsulated fish oil in the rumen and its effect on gas production and rumen degradability. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 4(3): 265-273.
- Stancheva, M., Dobрева, D., Merdzhinov, A. and Galunska, B. 2010. Vitamin Content and Fatty Acids Composition of Rain trout, Plodiv. University, PaislHilendarski, *Bulgaria Scientific Papers Book*, 37: 117-123.
- Stratulat, I., Britten, M., Salmieri, S., Fustier, P., St-Gelais, D., Champagne, C. P. and Lacroix, M. 2014. Enrichment of cheese with bioactive lipophilic compounds. *Journal of Functional Foods*, 6: 48-59.
- Stratulat, I., Britten, M., Salmieri, S., Fustier, P., St-Gelais, D., Champagne, C. P. and Lacroix, M. 2015. Enrichment of cheese with vitamin D₃ and vegetable omega-3. *Journal of Functional Foods*, 13: 300-307.
- Tamjidi, F., Nasirpour, A. and Shahedi, M. 2011. Physicochemical and sensory properties of yogurt enriched with microencapsulated fish oil. *Food Science and Technology International*. 8(8): 381-390.
- Walther, B., Schmid, A. Sieber, R. and Wehrmüller R. S. K. 2008. Cheese in nutrition and health. *Dairy Science & Technology*. 88: 389-405.
- Ye, A., Cui, J., Taneja, A., Zhu, X. and Singh, H. 2009. Evaluation of processed cheese fortified with fish oil emulsion. *Food Research International*, 42:1093-1098.



Quality characteristics and fatty acid profile of Siahmezgi cheese fortified by encapsulated fish oil

E. Nejat Pirsaraii¹, E. Zakipour Rahimabadi^{2*}, A. Babakhani³, E. Aminpour Daphchahi¹

Received: 2020.07.03

Accepted: 2020.11.11

Introduction: There is a growing body of evidence which long chain omega-3 fatty acids from seafood (Particularly EPA and DHA), are not only beneficial for general health and well-being, but also play a role in preventing of many important diseases. For these reasons, many health associations recommend to eat seafood at least twice weekly. Omega-3 fatty acid fortification is one of the fastest growing trends in the food industry. Dairy products are particularly suitable for enrichment with long chain n-3 PUFAs, in terms of popularity with consumers and special storage condition. So, this research was carried out to investigate the nutritional value and the fatty acid profile of Siahmezgi cheese fortified with encapsulated fish oil.

Materials and Methods: For this purpose, at first, the microencapsulation process of fish oil with whey protein was performed at a ratio of 1:2 and the encapsulated oil was added in the process of producing Siahmezgi cheese. The treatments were as: control, treatment 1 (contained % 0.5 encapsulated fish oil) and treatment 2 (contained % 1.0 encapsulated fish oil). In this study, the determination of cheese fatty acid profile and sensory evaluation was performed at day 60 after cheese production and examination of peroxide value, thiobarbituric acid was performed at day 0, 30 and 60. Proximate analysis was calculated after cheese production, immediately.

Results and Discussion: A total of 22 types of fatty acids were identified in Siahmezgi cheese samples. The ratio of unsaturated fatty acids to saturated fatty acids in treatments 1 and 2 were 0.78 and 0.83, respectively. The content of EPA and DHA in treatment 1 (0.09, 0.16 %) and treatment 2 (0.16, 0.47 %) were significantly more than control treatment (0.06 and 0.04 %) ($p < 0.05$). The content of thiobarbituric acid in all samples was much lower than the allowed level. Sensory evaluation of control and enriched treatments of Siahmezgi cheese showed that all cheeses were generally acceptable by the judges.

Key words: Siahmezgi cheese, Fortification, sensory analysis, Encapsulation

1, 2 and 3. M.Sc., Associate Professor and Assistant Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara.

(* Corresponding author; Email: e.zakipoor@guilan.ac.ir)



مقاله پژوهشی

ارزیابی دما و مدت زمان نگهداری بر اکسیداسیون کره بادام زمینی

مریم رواقی^{۱*} - آزاده خدابخشیان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۲

چکیده

بادام زمینی به عنوان یک منبع غنی از چربی، مستعد تغییرات ناشی از اکسیداسیون است. در استاندارد ملی ایران تنها اندازه گیری اندیس پراکسید جهت بررسی وضعیت اکسیداسیون نمونه ها لحاظ شده است. اگرچه روند اکسایش چربی ها تا حد زیادی شناخته شده است اما ابهامات زیادی در زمینه اکسایش در شرایط واقعی پس از تولید و حین نگهداری وجود دارد. با توجه به گستردگی استفاده از ظروف تک نفره پلی پروپیلن و پلی اتیلن ترفتالات، کره بادام زمینی پایدار شده با موندی گلیسرید پس از تولید در هر دو نوع ظرف پر شد و درزبندی گردید. اکسایش کره بادام زمینی در سه دما (۴، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد) در زمان های مختلف (صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ روز) از نظر عدد پراکسید، عدد پارآنیزیدین، اسیدیت و ارزیابی حسی مورد بررسی قرار گرفت. کره بادام زمینی تولیدی حاوی $54/55 \pm 0/85$ درصد چربی بود که از این میزان ۸۰/۹۲ درصد به اسیدچرب غیراشباع (۵۷/۵۷ درصد تک غیراشباع و ۲۳/۳۵ درصد چند غیراشباع) و ۱۷/۰۶ درصد به اسید چرب اشباع اختصاص داشت. دما و زمان اثر متقابل معنی داری بر عدد پراکسید، عدد پارآنیزیدین، اسیدیت و ارزیابی حسی داشت. در مورد عدد پراکسید روند متفاوتی در ظرف پلی پروپیلن و ظرف پلی اتیلن ترفتالات مشاهده شد. در ظروف پلی پروپیلن به دلیل بیشتر بودن عبور اکسیژن از بسته بندی اندیس پراکسید دائماً افزایش یافت و این امر با افزایش دما تسریع گردید در حالی که اکسیداسیون در ظرف پلی اتیلن ترفتالات با سرعت کمتری اتفاق افتاد. نکته قابل تأمل در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد رخ داد چرا که عدد پراکسید در این دما حتی در مقایسه با نمونه ۴ درجه سانتی گراد کمتر بود. ارزیابی سایر ویژگی ها نشان داد که دما و زمان اثر تشدیدکنندگی بر افزایش اسیدیت و عدد پارآنیزیدین داشته و مجموعه این تغییرات باعث کاهش ویژگی های کیفی محصول شد. در هیچ یک از نمونه ها آثاری از بدطعمی مشاهده نشد اما نمونه های نگهداری شده در دمای بالاتر عطر و طعم تازه اولیه را نداشتند. نتایج این پژوهش نشان داد عدد پراکسید به تنهایی شاخص مناسبی در بررسی کیفی کره بادام زمینی محسوب نمی شود.

واژه های کلیدی: اکسیداسیون، دما، مدت زمان نگهداری، عدد پارآنیزیدین، عدد پراکسید، کره بادام زمینی

مقدمه

مغزها به صورت خام محتوی آنزیم هایی همچون لیپوکسیژناز هستند که منجر به اکسیداسیون مغزهای آسیب دیده می شوند اما این آنزیم ها معمولاً حین برشته کردن از بین می روند (Shakerardekani, 2015). واکنش خودبه خودی اکسیژن اتمسفری یا ترکیبات اکسیژن دار (سوپراکسید، هیدروکسید، رادیکال آزاد اکسیژن و رادیکال پراکسید) با لیپیدها تحت عنوان اکسیداسیون لیپیدی بررسی می شود. اسیدهای چرب چندغیراشباع معمولاً توسط اتواکسیداسیون لیپیدی تخریب و تجزیه می شوند (Pidatala, 2011). طی اکسایش چربی ها ابتدا اکسیژن توسط چربی جذب می شود، سپس پراکسیدها تولید می گردند. در مرحله بعد پراکسیدها جهت تولید محصولات ثانویه اکسیداسیون می شکنند و در نهایت طعم و بوی ناشی از تند شدن در اثر تولید آلدئیدها و کتون ها ایجاد می شود (Williamson, 1998).

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) یکی از مهم ترین محصولات کشاورزی جهان است که بخش عمده ای از آن در آسیا تولید می گردد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۵). کره بادام زمینی نوعی محصول خمیری شکل است که از آسیاب کردن بادام زمینی برشته تولید می شود و به دلیل ارزش غذایی بالا و غنی بودن از پروتئین و ویتامین هایی همچون ویتامین E، نیاسین، آنتی اکسیدان ها و اسید فولیک مورد توجه قرار گرفته است (Pidatala, 2011). به علاوه فیتواسترول، توکوفرول و ترکیبات فنلی موجود در این مغز از ریسک بسیاری از انواع سرطان، بیماری قلبی و انواع بیماری های مزمن می کاهد (Shakerardekani, 2015).

^۲- کارشناس صنایع غذایی و مدیر کنترل کیفی، اصفهان، ایران.

(*) - نویسنده مسئول: (Email: ravaghi.maryam@gmail.com)

^۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

مواد و روش ها

در تولید کره بادامزمینی از بادامزمینی هندی استفاده شد. فهلینگ A و B، نیترا نقره (۰/۱ نرمال) و کلروفرم از شرکت سامچون (کره) و سایر مواد شیمیایی، معرف ها و محیط های کشت میکروبی از شرکت مرک آلمان تهیه و استفاده شد.

تولید کره بادامزمینی

ابتدا بادامزمینی در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه برشته شد و پوست آن ها توسط دستگاه پوست گیر جدا گردید. بادامزمینی های کپک زده، آفت دار و نامناسب روی خط سورتینگ جدا شد. امولسیفایر مونو دی گلیسرید به میزان ۱٪ به بادامزمینی افزوده شد و توسط آسیاب تا اندازه ذرات حدود ۳۰ میکرومتر آسیاب شد. کره بادامزمینی در ظروف پلی اتیلن ترفتالات ۲۵۰ گرمی (فضای خالی بالای ظرف ۲ سانتی متری و قطر دهانه ۷ سانتی متر) پر شد و پس از آن درزبندی^۲ و دربندی شد. پر کردن و بسته بندی کره بادامزمینی در ظروف تک نفره پلی پروپیلن (فضای خالی بالای ظرف ۰/۵ سانتی متری و قطر دهانه ۴ سانتی متری) توسط دستگاه انجام شد.

ویژگی های شیمیایی و میکروبی محصول تولیدی

نمونه ها پس از تولید از نظر اندازه ذرات توسط دستگاه میکرومتر دیجیتالی، رطوبت، چربی، قند، خاکستر بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۹۰ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴)، نمک بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۸۰ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴) و پروتئین مطابق استاندارد AOAC (AOAC, 2000) مورد آزمون قرار گرفتند. اندازه گیری اسیدهای چرب موجود در نمونه اولیه نیز مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۱۲۶-۲ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴) و ۱۳۱۲۶-۴ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴) انجام شد.

آزمون های میکروبی نمونه کره بادامزمینی شامل شمارش کلی میکروارگانیزم ها مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۵۲۷۲-۱ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۳)، اندازه گیری/تشریفا کلی بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۴۶ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۴)، کلی فرم با توجه به استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۶۳ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۶) و ۱۱۱۶۶ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۷)، کپک مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۸۹۹-۳ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۲)، سالمونلا بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۸۱۰ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۳) و استافیلوکوکوس کوکالز مثبت مطابق استاندارد ملی ایران به شماره

اکسیداسیون لیپیدی یک فرایند چندفاکتوره است که بسیاری از فاکتورهای آن همزمان با هم عمل می کنند یا به یکدیگر وابسته هستند. از این رو ارزیابی یک فاکتور به صورت مجزا اغلب دشوار است. فاکتورهای اصلی مؤثر بر تند شدن اکسیداتیو در دو گروه فاکتورهای خارجی شامل غلظت اکسیژن، دما، نور، رطوبت نسبی و فاکتورهای ذاتی اعم از ترکیب لیپیدی، مقدار اسیدهای چرب غیراشباع آزاد، فلزات، آنتی اکسیدان ها، ویژگی های فیزیکی مغز و بسته بندی طبقه بندی می شوند (Shahidi and John, 2013). توسعه اکسیداسیون در شرایط تسریع شده در بسیاری از مقالات مورد مطالعه قرار گرفته است اما این روش ها اطلاعات مناسبی در مورد رفتار اکسایشی غذا حین نگهداری در شرایط معمول را فراهم نمی کند (Velasco et al., 2010).

اکسایش لیپیدها یکی از عوامل مهم در ماندگاری محصولات غذایی است و معمولاً با کاهش ارزش تغذیه ای، اثرات نامطلوب بر طعم و رنگ و تولید ترکیبات سمی همراه است (امینی راستابی و میرزایی، ۱۳۹۷). ترکیبات فعال فیزیولوژیکی که حین اکسایش تولید می شوند منجر به تخریب ویتامین ها، اسیدهای چرب ضروری، کلروفیل ها، کاروتن ها، آمینواسیدها، پروتئین ها و آنزیم ها می شوند (شهیدی نوقابی و همکاران، ۱۳۹۸). محصولات هیدروپراکسید، الکل، آلدهید و کتون از محصولات اکسیداسیون لیپیدها است که با روش های مختلف قابل اندازه گیری است. در بین این روش ها اندازه گیری پراکسید شاخصی ساده و کاربردی جهت تعیین کیفیت لیپیدها محسوب می شود (Pidatala, 2011). به علاوه اطلاع از وضعیت کیفی چربی محصول پیش از عرضه به بازار برای تولیدکننده اهمیت اقتصادی دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱).

بسته بندی یکی از ساده ترین روش های به تعویق انداختن اکسیداسیون لیپیدها است؛ در این روش از تماس مواد اکسیدشونده (لیپید) با عوامل اکسیدکننده (اکسیژن و یون های فلزی) جلوگیری می شود. پلاستیک ها متداول ترین مواد بسته بندی هستند که از نظر مقاومت به حرارت، نفوذپذیری به گاز و رطوبت و ویژگی های مکانیکی متفاوت هستند (Pidatala, 2011). پلی اتیلن ترفتالات یکی از انواع پلاستیک های بسته بندی است که به طور گسترده ای در صنایع غذایی کاربرد یافته است (Beeva et al., 2015).

کره بادامزمینی بسیار مستعد اکسیداسیون است و مطالعه اثر فاکتورهای مختلف بر کیفیت محصول اهمیت دارد. آزمایش های این پژوهش در پی حل مشکل پراکسید یکی از کارخانه های تولیدکننده کره بادامزمینی انجام شد. با توجه به اهمیت تضمین سلامت محصول برای مصرف کننده در این پژوهش سعی شد تا وضعیت اکسیداسیون نمونه هایی که در شرایط کارخانه تولید و بسته بندی شده اند طی نگهداری در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس توسط نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS Institute, 2002) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی محصول تولیدی

اندازه ذرات، درصد رطوبت، چربی، قند، خاکستر، نمک و پروتئین کره بادام‌زمینی در جدول ۱، گزارش شده است. مطابق با نتایج به‌دست آمده، بیشترین درصد ترکیبات متعلق به چربی با $54/55 \pm 0/85$ درصد بود و پس از آن پروتئین با $22/28 \pm 0/31$ درصد قرار داشت. توجه به مقدار چربی محصول از آن‌جا اهمیت دارد که چربی‌ها مستعد اکسیداسیون هستند و در صورت نامناسب بودن شرایط نگهداری به سرعت کیفیت خود را از دست می‌دهند. مقادیر مربوط به ترکیبات شیمیایی موجود در کره بادام‌زمینی تهیه شده با نتایج گزارش شده توسط ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵)، روی بادام‌زمینی واریته هندی کشت شده در استان گلستان تقریباً هم‌خوانی داشت. این پژوهشگران نشان دادند که بادام‌زمینی واریته هندی محتوی $51/26$ درصد چربی، $20/02$ درصد پروتئین، $4/53$ درصد قند، $3/56$ درصد رطوبت، $43/16$ درصد اولئیک اسید و $36/84$ درصد لینولئیک اسید است. ذکر این نکته ضروری است که در پژوهش مذکور نتایج مربوط به بادام‌زمینی خام گزارش شده بود. در استاندارد کره بادام‌زمینی مقدار قند کل بر حسب ساکارز ۳ درصد وزنی برای کره بادام‌زمینی بدون شکر در نظر گرفته شده است که با درصد قند نمونه تولیدی ($3/86 \pm 0/62$ درصد) مطابقت نداشت. این در حالی است که نه تنها در پژوهش حاضر بلکه در سایر پژوهش‌ها هم بعضاً اعداد بالاتری مشاهده شد که به‌نظر می‌رسد این عدد در استاندارد ۵۶۹۰ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴) نیازمند بازنگری است. سایر اعداد بدست آمده برای کره بادام‌زمینی با استاندارد مذکور مطابقت داشت.

کره بادام‌زمینی تولیدی اندازه ذراتی در حد 30 ± 1 میکرومتر داشت و از این نظر بافتی مطلوب و نسبتاً نرم ایجاد کرد. اندازه ذرات کره بادام‌زمینی نه تنها از نظر تولید محصولی با بافت مناسب و مطلوب مشتری ضروری است بلکه یکی از عوامل تأثیرگذار بر اکسیداسیون لیپیدی است. طی فرایند آسیاب کردن اندازه ذرات کاهش می‌یابد و با افزایش نسبت سطح به حجم ذرات کره بادام‌زمینی حساسیت لیپیدها به اکسایش افزایش می‌یابد (Mohd Rozalli et al., 2016). Schorno و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که طی فرایند آسیاب کردن تخم کتان محصولات با بافت نرم سه برابر اکسایش (با اندازه‌گیری اندیس پراکسید) سریع‌تری نسبت به محصولات با بافت زبر طی ۴۸ روز نگهداری داشتند. Woodroof (۱۹۸۳) نیز نشان داد که کره

۶۸۰۶-۱ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۴)، ۲-۶۸۰۶ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۶) و ۳-۶۸۰۶ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۵) پس از تولید انجام شد.

شرایط نگهداری

کره‌ها پس از تولید یک شب در شرایط محیطی نگهداری شدند و سپس در سه دمای ۴، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. به‌منظور حداقل کردن اثر نور خورشید تمام کره‌های تولیدی در شرایط تاریک نگهداری شدند. نمونه‌ها در زمان صفر و سپس در بازه‌های زمانی مشخص (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ روز) از نظر رطوبت، اندیس پراکسید، عدد پارانیزیدین، اسیدیته و ارزیابی حسی مورد آزمون قرار گرفتند.

عدد پراکسید، اسیدیته و عدد پارانیزیدین

کره‌های تولیدی در بازه‌های زمانی مشخص از نظر اندیس پراکسید بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳۷ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۷)، اسیدیته مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۵۶۹۰ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴) و عدد پارانیزیدین مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۴۰۹۳ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۵) ارزیابی شدند.

ارزیابی حسی

کره‌های تولیدی در بازه‌های زمانی مشخص توسط ده پانلیست نیمه آموزش دیده شاغل در کارخانه (گروه سنی ۳۰ تا ۵۰ سال) ارزیابی شدند. مبنای انتخاب پانلیست‌ها تشخیص طعم و بوهای اصلی و داشتن وقت کافی بود. به علاوه پانلیست‌ها حداقل دوبار در هفته از کره بادام‌زمینی استفاده می‌کردند. قبل از شروع آزمون نیز توضیحاتی در مورد روش درجه‌بندی و کلیات کار در اختیار ارزیابان قرار گرفت. از مقیاس هدونیک ۵ نقطه با اصطلاحات توصیفی برای رتبه‌بندی نمونه‌ها استفاده گردید؛ بدین صورت که عدد ۵ به‌عنوان نمونه خیلی خوب و ۱ به‌عنوان خیلی بد در نظر گرفته شد. هدف از این بررسی وجود یک ارزیابی کلی با تأکید بر بروز طعم و بوی نامطبوع ناشی از فساد بود. در بین نمونه‌ها از آب برای نوشیدن و پاک کردن دهان از طعم نمونه قبلی استفاده شد (Riveros et al., 2009).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش‌ها در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. در این طرح فاکتور درجه حرارت به‌عنوان پلات اصلی و فاکتور زمان نگهداری به‌عنوان پلات فرعی در نظر گرفته

بادامزمینی با بافت زبر اندیس پراکسید پایین‌تری پس از ۱۲ ماه نگهداری نسبت به انواع با بافت نرم داشت.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی کره بادامزمینی پس از تولید

اندازه ذرات (میکرومتر)	رطوبت (درصد)	چربی (درصد)	قند بر حسب ساکارز (درصد)	خاکستر (درصد)	نمک (درصد)	پروتئین (درصد)
۳۰±۱	۰/۴۸±۰/۰۵	۵۴/۵۵±۰/۸۵	۳/۸۶±۰/۶۲	۲/۱۰±۰/۱۰	۰/۰۲±۰/۰۱	۲۲/۲۸±۰/۳۱

اولئیک اسید (۵۶/۴۴ درصد) بود و پس از آن به ترتیب لینولئیک اسید (۲۳/۰۵ درصد) و پالمیتیک اسید (۱۰/۹۶ درصد) قرار داشت. سایر اسیدهای چرب در مقادیر کمتری در نمونه وجود داشت.

پروفایل اسیدهای چرب کره بادامزمینی در جدول ۲، نشان داده شده است. کره بادامزمینی تولیدی، محتوی ۱۷/۰۶ درصد اسیدچرب اشباع، ۵۷/۵۷ درصد اسیدهای چرب تک غیراشباع و ۲۵/۳۵ درصد اسیدهای چرب چند غیراشباع بود. اسید چرب غالب در کره بادامزمینی

جدول ۲- پروفایل اسیدهای چرب کره بادامزمینی بلافاصله پس از تولید

اسید چرب	درصد	اسید چرب	درصد
C14:0	۰/۰۶	C18:3	۰/۰۶
C16:0	۱۰/۹۶	C20:0	۱/۴
C16:1	۰/۰۷	C20:1	۰/۹۷
C17:0	۰/۰۸	C20:3	۲/۲۴
C17:1	۰/۰۵	C21:0	۰/۰۲
C18:0	۴/۵۰	C22:1	۰/۰۴
C18:1	۵۶/۴۴	C23:0	۰/۰۴
C18:2	۲۳/۰۵		

غیراشباعیت افزایش می‌یابد (Shakerardekani, 2015). بدین ترتیب بررسی اسیدهای چرب از نقطه نظر اکسیداسیون امری ضروری است. آزمون میکروبی نمونه کره بادامزمینی در جدول ۳، آورده شده است. نتایج حاصل از مشاهدات میکروبی نمونه حاکی از عدم رشد میکروارگانیسم‌ها و کاملاً منطبق بر استاندارد ۵۶۹۰ بود. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که رشد میکروارگانیسم‌هایی همچون کپک‌ها از عوامل مؤثر در افزایش اندیس پراکسید است. بدین ترتیب می‌توان در این پژوهش فرض کرد که اکسیداسیون لیپیدها مستقل از عوامل میکروبی و وابسته به شرایط نگهداری است.

اسیدهای چرب تک غیراشباع، کلسترول با دانسیته پایین را کاهش می‌دهند، پروفایل لیپیدی خون را بهبود می‌بخشند و باعث کاهش ریسک بیماری‌های قلبی-عروقی مانند حمله قلبی و تصلب شرایین می‌شوند. این اسیدهای چرب با کاهش چربی‌های شکمی در کاهش وزن مؤثرند. اسیدهای چرب چند غیراشباع محتوی اسیدهای چرب امگا ۳ و امگا ۶ هستند. آلفا لینولنیک اسید نوعی اسید چرب امگا ۳ است که مانع از بروز فشار خون، بیماری‌های قلبی عروقی و لخته شدن خون می‌شود (Delgado-Lista et al., 2012). علی‌رغم فواید بسیار اسیدهای چرب غیراشباع، سرعت اکسیداسیون با افزایش درجه

جدول ۳- آزمون میکروبی نمونه کره بادامزمینی

آزمون میکروبی	CFU/gr در ظرف پلی اتیلن ترفتالات	CFU/gr در ظرف پلی پروپیلن
شمارش کلی	<۱۰۰	<۱۰۰
کلی‌فرم	<۱۰	<۱۰
اشریشیا کلی	منفی	منفی
استافیلوکوکوس کواگولاز مثبت	منفی	منفی
کپک	<۱۰	<۱۰
سالمونلا	منفی*	منفی*

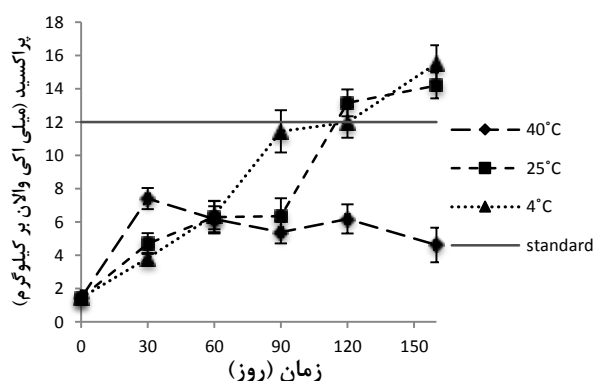
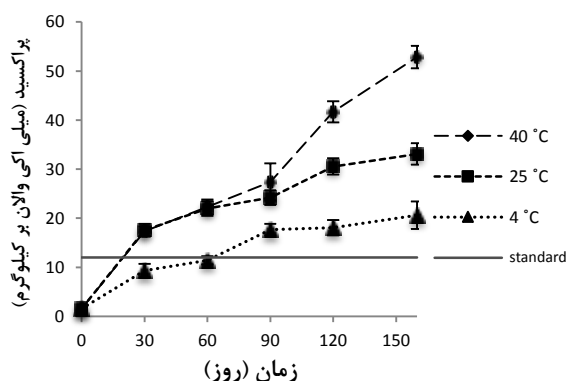
* در مورد سالمونلا در ۲۵ گرم نمونه اندازه‌گیری صورت گرفت.

رطوبت

رطوبت کره‌های نگهداری شده در دماهای مختلف طی زمان تفاوت آماری معنی داری نشان نداد ($p > 0.05$). مقادیر رطوبت نمونه‌ها در مدت زمان ۱۶۰ روز در محدوده $0.8 \pm 0.5\%$ بود. نتایج بدست آمده با نتایج برخی پژوهشگران همچون Mohd Rozalli و همکاران (۲۰۱۶) مغایرت داشت. آن‌ها نشان دادند که در کره بادام‌زمینی نگهداری شده در ظروف پلی‌پروپیلن با افزایش دمای نگهداری، رطوبت تا کمتر از دو برابر افزایش یافت و این افزایش در نمونه‌های نگهداری شده در ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد سریع‌تر رخ داد.

اندیس پراکسید

شاخص اکسیداسیون لیپیدی در کره بادام‌زمینی توسط اندیس پراکسید تعیین می‌شود (Mohd Rozalli et al., 2016). همان‌طور که قبلاً ذکر شد کره بادام زمینی به علت دارا بودن اسیدهای چرب غیراشباع در مقادیر بالا مانند لینولئیک‌اسید بسیار مستعد اکسیداسیون لیپیدی است. اندیس پراکسید، معیار اندازه‌گیری هیدروپراکسیدهای محصول است که در مراحل اولیه اکسیداسیون تولید می‌شوند. شکل ۱، اندیس پراکسید کره بادام‌زمینی را طی نگهداری ۱۶۰ روز در دماهای مختلف و در دو جنس ظرف پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات نشان می‌دهد.



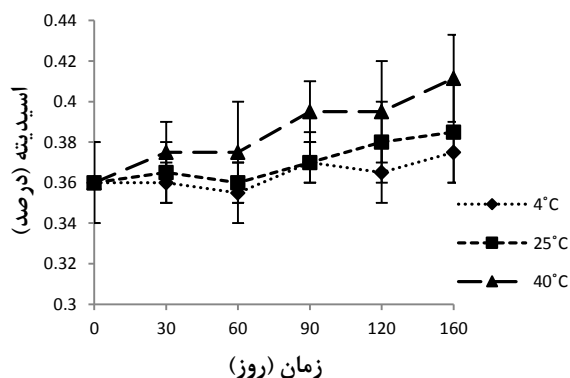
شکل ۱- اندیس پراکسید کره بادام‌زمینی طی ۱۶۰ روز نگهداری در دمای ۴، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در ظرف پلی‌پروپیلن (سمت چپ) و پلی‌اتیلن ترفتالات (سمت راست).

پراکسید کره بادام‌زمینی (بدون پایدارکننده) در ظروف پلی‌پروپیلن طی زمان روند افزایشی داشت. در آزمایش این پژوهشگران اندیس پراکسید در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد نسبتاً ثابت بود اما با افزایش دما اندیس پراکسید افزایش یافت. مقدار پراکسید که در زمان صفر 0.5 میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم بود پس از ۱۶ هفته نگهداری به حدود ۷۵ (در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و ۸۰ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم (در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد) رسید. با توجه به تأثیرات دما Woodroof (۱۹۸۳)، نگهداری در دمای پایین را برای جلوگیری از تند شدن کره بادام‌زمینی خصوصاً در تابستان پیشنهاد داد. این امر بایستی در کارخانه‌های صنایع غذایی و از زمان تولید تا مصرف مورد توجه قرار گیرد.

در ظروف پلی‌اتیلن ترفتالات وضعیت تا حدی متفاوت بود. جنس ظرف نفوذپذیری کمتری در مقایسه با پلی‌پروپیلن داشت و به علاوه حجم نمونه موجود در ظرف هم بیشتر بود. در این حالت کره بادام‌زمینی، نسبت سطح به حجم کمتری برای دسترسی به اکسیژن داشت و بدین ترتیب اکسیداسیون با سرعت کمتری رخ داد. در نمونه‌های ۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیش از ۴ ماه طول کشید تا نمونه‌ها از محدوده استاندارد پراکسید (۱۲ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) خارج شدند. روند اکسیداسیون در نمونه‌های ۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشابه بود اما دمای

نتایج نشان داد دما و زمان اثر متقابل معنی‌داری بر اندیس پراکسید نمونه‌های بسته‌بندی شده در ظروف پلی‌پروپیلن و ظروف پلی‌اتیلن ترفتالات داشتند ($p < 0.05$). افزایش عدد پراکسید ناشی از شدت یافتن اکسیداسیون با افزایش مدت زمان نگهداری است (شاهین و همکاران، ۱۳۹۲). به علاوه اکسیداسیون لیپیدها و افزایش سرعت تند شدن چربی بسیار وابسته به دما است و با افزایش دما به سرعت افزایش می‌یابد (Shahidi & John, 2013). این دو فاکتور در کنار اثر تشدیدکنندگی بر اندیس پراکسید داشتند. با این وجود کاملاً مشخص است که روند افزایش در دماهای مختلف طی زمان بسته به جنس ظرف متفاوت است. در ظروف پلی‌پروپیلن به دلیل بیشتر بودن عبور اکسیژن از بسته‌بندی اندیس پراکسید دائماً افزایش یافت و این امر با افزایش دما تسریع گردید (شکل ۱ سمت چپ). بدین ترتیب نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد پس از دو ماه نگهداری و در دمای ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در کمتر از یک ماه از محدوده استاندارد پراکسید (۱۲ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) خارج شدند. پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند که چربی در حضور غلظت بالای اکسیژن دچار اکسیداسیون سریع‌تر در مقایسه با غلظت‌های پایین‌تر اکسیژن می‌شود (Shahidi & John, 2013). Mohd Rozalli و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که

(دمای ۴۰ درجه سانتی گراد) در ظروف پلی اتیلن ترفتالات (شکل سمت راست) و در نمونه‌های بسته‌بندی شده در ظروف پلی پروپیلن (شکل سمت چپ) به ۰/۳۸ (دمای ۴ درجه سانتی گراد)، ۰/۳۹ (دمای ۲۵ درجه سانتی گراد) و ۰/۴۱ (دمای ۴۰ درجه سانتی گراد) رسید. گرچه این مقادیر به لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$)، اما به لحاظ عددی تغییر چندانی محسوس به حساب نمی‌آمد. بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۹۰ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴) بیشینه مجاز اسیدیته برای کره بادامزمینی ۲/۵ درصد بود که از این نظر تمام نمونه‌ها پس از نگهداری در محدوده مجاز قرار داشتند. اسیدیته معیاری برای تعیین فساد هیدرولیتیکی است که عمدتاً در اثر هیدرولیز اسیدهای چرب در حضور آب افزایش می‌یابد (شاهین و همکاران، ۱۳۹۲). با این وجود واکنش‌های اکسایشی دیگر نیز می‌توانند منجر به تولید اسیدهای چرب آزاد شوند. از این رو پایش اسیدیته یکی از پارامترهای کنترل کیفیت اکسیداسیون است. به علاوه این ترکیبات می‌توانند دراتواکسیداسیون نیز شرکت کنند (خشنودی نیا و صداقت، ۱۳۹۲ و خشنودی نیا و همکاران، ۱۳۹۳). Caglarirmak و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که بادامزمینی پوست گیری شده و برشته نسبت به نمونه‌های با پوست و نگهداری شده در خلأ اسیدهای چرب آزاد بیشتری داشت که این امر ناشی از افزایش اسیدیته به علت اکسیداسیون نمونه‌ها حتی با کاهش میزان رطوبت بود.



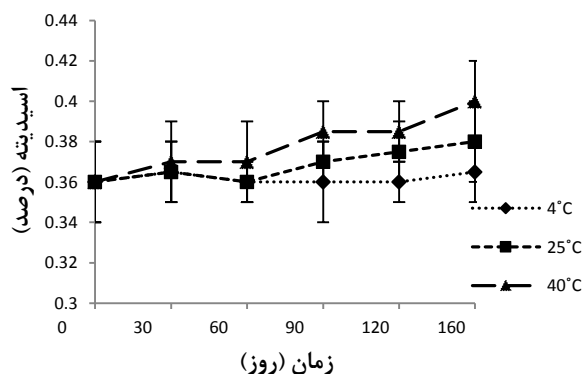
شکل ۲- اسیدیته کره بادامزمینی طی ۱۶۰ روز نگهداری در دمای ۴، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد در ظرف پلی پروپیلن (سمت چپ) و پلی اتیلن ترفتالات (سمت راست).

(امیرسرداری و همکاران، ۱۳۹۷). در این روش، آلدئیدها خصوصاً ۲-آلکنال‌ها و ۲-آلکادی‌انال‌ها اندازه‌گیری می‌شوند (Chien, 2015). این آزمون به ویژه در روغن‌هایی با پراکسید پایین که احتمال تقلب در آن‌ها وجود دارد کاربرد یافته است. اگرچه عدد آنیزیدین در استاندارد کره بادامزمینی لحاظ نشده است اما عدد آنیزیدین ۱۰ یا کمتر برای روغن‌های خوراکی مورد قبول است (Shakerardekani, 2015).

۴۰ درجه سانتی گراد رفتاری متفاوت نشان داد. در این دما پراکسید ابتدا تا $7/4 \pm 0/64$ افزایش یافت و پس از آن روندی نسبتاً ثابت را نشان داد. به نظر می‌رسد در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد و در شرایط موجود در ظرف، سرعت تولید و تجزیه پراکسید تقریباً برابر است. پراکسید محصول اولیه اکسیداسیون است و بسته به شرایط با سرعت متفاوتی تولید و تجزیه می‌شود. هیدروپراکسیدهای لیپیدی در دمای اتاق پایدارند اما با افزایش دما به راحتی به رادیکال‌های آلکوکسی می‌شکنند و آلدئیدها، کتون‌ها، اسیدها، استرها، الکل‌ها و کربونیل‌های زنجیره کوتاه را تولید می‌کنند. توسعه این ترکیبات در نهایت منجر به تغییرات طعم و بو می‌شود (Choe and Min, 2006). این مسئله در نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های استاندارد اهمیت دارد چرا که نشان می‌دهد همواره شرایط بد نگهداری الزامی برای افزایش پراکسید ایجاد نمی‌کند.

اسیدیته

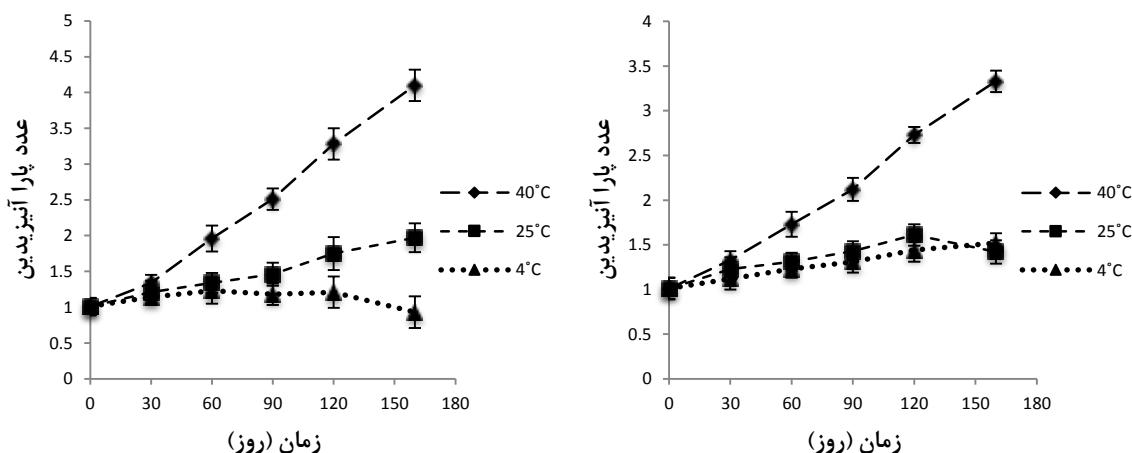
شکل ۲، اسیدیته کره بادامزمینی را طی نگهداری ۱۶۰ روز در دماهای مختلف و در دو جنس ظرف پلی پروپیلن و پلی اتیلن ترفتالات نشان می‌دهد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری حاکی از وجود اثر متقابل معنی‌دار دما و زمان بر اسیدیته نمونه‌های کره بادامزمینی نگهداری شده در هر دو نوع ظرف بود ($P < 0.05$). اسیدیته کره بادامزمینی در نمونه‌های تولیدی $0/36 \pm 0/02$ بود تا روز ۱۶۰ام نگهداری به $0/37$ (دمای ۴ درجه سانتی گراد)، $0/38$ (دمای ۲۵ درجه سانتی گراد) و $0/40$



عدد پارآنیزیدین

شکل ۳، عدد پارآنیزیدین نمونه‌های کره بادامزمینی را طی نگهداری ۱۶۰ روز در دماهای مختلف و در دو جنس ظرف پلی پروپیلن و پلی اتیلن ترفتالات نشان می‌دهد. دما و زمان اثر متقابل معنی‌دار بر عدد آنیزیدین نمونه‌ها در هر دو جنس ظرف داشت ($P < 0.05$). عدد آنیزیدین شاخصی از محصولات ثانویه اکسیداسیون است که در اثر شکستن محصولات اولیه اکسایش (هیدروپراکسیدها) تولید می‌شوند

این نظر تمامی نمونه‌ها حتی پس از اتمام دوره نگهداری همچنان در محدوده مجاز خوراکی بودند.



شکل ۳- عدد پارائیزیدین کره بادام‌زمینی طی ۱۶۰ روز نگهداری در دمای ۴، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در ظرف پلی‌پروپیلن (سمت چپ) و پلی‌اتیلن ترفتالات (سمت راست).

دیگر ارزیابی حسی به تنهایی شواهد کافی برای پیگرد قانونی تولیدکنندگان و فروشندگان محصولات اکسید شده و فاقد کیفیت فراهم نمی‌آورد بنابراین وجود روش‌های آنالیز کمی جهت تشخیص تند شدن بادام‌زمینی امری ضروری است (Williamson, 1998). پژوهشگران روش‌های ساده‌ای همچون اندیس پراکسید و عدد آنیزیدین را جهت تعیین ماندگاری بر مبنای آزمون‌های حسی پیشنهاد داده‌اند (Zajdenweg et al., 2011). معمولاً وضعیت اکسایشی نمونه همراه با ارزیابی حسی بررسی می‌شود چرا که تولید ترکیبات نامطلوب طعم و بو از محصولات ثانویه اکسیداسیون چربی‌ها (مانند پنتانال، هگزانال، اکتانال) است (Shakerardekani, 2015).

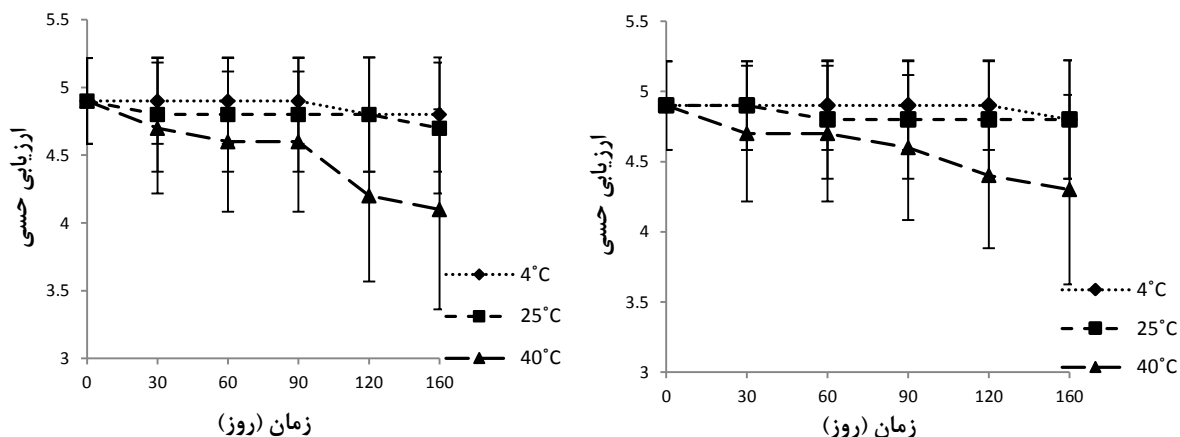
شکل ۴، ارزیابی طعم نمونه‌های کره بادام‌زمینی را طی نگهداری ۱۶۰ روز در دماهای مختلف و در دو جنس ظرف پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات نشان می‌دهد. همان‌گونه که از سایر نتایج نیز انتظار می‌رفت دما و زمان اثر متقابل معنی داری بر ویژگی‌های حسی نمونه طی زمان داشتند ($p < 0.05$). تمام نمونه‌ها حتی نمونه‌های نگهداری شده در ۴۰ درجه سانتی‌گراد پس از گذشت ۱۶۰ روز اثری از طعم و بوی نامطلوب را نشان ندادند اگرچه برخی از پانلیست‌ها اذعان داشتند که این نمونه‌ها تا حدی تازگی اولیه خود را از دست داده‌اند. این امر علت کاهش امتیاز داده شده به این نمونه‌ها از سوی پانلیست‌ها بود. بسیاری از پژوهشگران نشان دادند که بین افزایش پراکسید و کاهش پذیرش کلی بادام‌زمینی یک رابطه منفی وجود دارد (Nepote et al., 2009). این امر در مورد ظروف پلی‌پروپیلن که منبع اکسیژن کافی برای اکسیداسیون بود کاملاً صدق کرد. تغییرات در ظروف پلی‌اتیلن ترفتالات کمتر از ظروف

در ظروف پلی‌پروپیلن که اکسیژن بیشتری در دسترس محصول قرار داشت عدد پارائیزیدین نیز مقادیر بیشتری نشان داد. در دمای بالاتر اکسیداسیون شدت یافته و محصولات اکسایش به میزان بیشتری طی زمان تولید شدند. بدین ترتیب عدد پارائیزیدین که در زمان صفر روز نگهداری به 1.0 ± 0.12 بود با اعمال تیمار دمایی ۴۰ درجه سانتی‌گراد طی ۱۶۰ روز نگهداری به 4.10 ± 0.22 رسید. در دمای پایین مانند اعمال تیمار ۴ درجه سانتی‌گراد حتی اگر پراکسیدها به عنوان محصولات اولیه اکسایش تولید شوند، روند تولید محصولات ثانویه و نهایی اکسایش به تعویق افتاده و کیفیت محصول به مدت طولانی‌تری حفظ شده است. در ظروف پلی‌اتیلن ترفتالات که منبع محدودتری از اکسیژن وجود داشت عدد پارائیزیدین نمونه‌ها در دمای ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد تغییرات بسیار محدودی نشان داد اما همچنان افزایش عدد پارائیزیدین با اعمال دمای بالا مانند دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد طی زمان نگهداری مشاهده شد. گرچه مقدار عددی اندیس پارائیزیدین در این ظروف پس از ۱۶۰ روز نگهداری (عدد پارائیزیدین برابر 3.33 ± 0.12) به مراتب از ظروف پلی‌پروپیلن (4.10 ± 0.22) کمتر بود.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی باعث شناسایی نقایص مرتبط با طعم و بو در مواد غذایی می‌شود که در حالت طبیعی توسط آزمون‌های دستگاهی قابل تشخیص نیست با این وجود این امر نیازمند پانلیست‌های آموزش دیده، امکانات کافی و هزینه زیاد است (Velasco et al., 2010). روش‌های دقیق دستگاهی و آزمون‌های شیمیایی اغلب به عنوان متمم ارزیابی حسی در نظر گرفته می‌شوند (Shahidi & John, 2013). از طرف

پلی پروپیلن بود که بیانگر کمتر بودن اکسایش و محصولات ناشی از آن در نمونه است.



شکل ۴- ارزیابی حسی کره بادام زمینی طی ۱۶۰ روز نگهداری در دمای ۴، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد در ظرف پلی پروپیلن (سمت چپ) و پلی اتیلن ترفتالات (سمت راست).

نتیجه گیری

مقاوم به نفوذ اکسیژن استفاده شود. روش های آنالیز پایداری اکسیداتیو چربی ها اغلب محدودیت هایی دارد و از این رو انتخاب یک آزمون بهینه به دلیل ماهیت پیچیده فرایندهای شیمیایی دشوار است. پراکسیدها محصولات اولیه اکسیداسیون چربی ها هستند و عمدتاً ناپایدار بوده و به محصولات دیگری تبدیل می شوند. با توجه به نتایج ظروف پلی اتیلن ترفتالات، می توان گفت اندازه گیری عدد پراکسید به عنوان شاخص اکسیداسیون به تنهایی معیار مناسبی در ارزیابی کیفی محسوب نمی شود؛ از این رو توسعه اکسیداسیون باید توسط بیش از یک روش پایش شود.

کره بادام زمینی منبعی غنی از مواد مغذی و ترکیبات بیواکتیو است که به صورت مجزا یا در فرمولاسیون های غذایی مصرف می شود. وجود اسیدهای چرب چندغیراشباع افزون بر خواص تغذیه ای، این محصول را مستعد اکسایش می کند. نتایج این پژوهش نشان داد بسته بندی کره بادام زمینی در ظروف تک نفره پلی پروپیلن ماندگاری محصول را کاهش داد از این رو محصول بایستی در شرایط سرد نگهداری شود. برای غلبه بر این مشکل بهتر است از پلی پروپیلن پوشش دار یا سایر انواع پلاستیک

منابع

- ابراهیمی، م.، خمیری، م.، و مقصودلو، ی.، ۱۳۹۵، بررسی تأثیر تلقیح کپک *Aspergillus flavus* بر تغییرات میزان اسیدهای چرب، اندیس پراکسید و تولید آفاتوکسین در چهار وارسته رایج بادام زمینی برداشت شده از سطح مزارع استان گلستان، نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۲ (۴)، ۳۹۴-۴۰۲.
- امیرسرداری، ا.، اسداللهی، س.، و اسحاقی، م. ر.، ۱۳۹۷، بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسایشی روغن سرخ کردنی فاقدپالم در مقایسه باروغن سرخ کردنی حاوی پالم، علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۵ (۱۵)، ۲۴۵-۲۵۵.
- حسینی، ح.، قربانی، م.، صادقی ماهونک، ع.، و مقصودلو، ی.، ۱۳۹۱، کاربرد شاخص دی ان مزدوج به عنوان معیاری از پیشرفت اکسایش گردو، نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی، ۴ (۱)، ۱-۱۳.
- خسنودی نیا، س.، صداقت، ن.، و رادمرد قدیری، غ.، ۱۳۹۳، اثر پوشش خوراکی ژلاتین حاوی آنتی اکسیدان بر ویژگی های سختی و مولفه های رنگی پسته برشته شده، پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۲ (۴)، ۳۱۰-۲۹۵.
- خسنودی نیا، س.، و صداقت، ن.، ۱۳۹۲، تأثیر پوشش خوراکی ژلاتینی حامل آنتی اکسیدان بر پایداری اکسیداسیونی و ویژگی های حسی پسته ی برشته ی اوحدی، علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۹ (۱)، ۲۰-۱۱.
- امینی راستابی، ج.، و میرزایی، ع.، ۱۳۹۷، تأثیر پوشش دهی با صمغ فارسی بر ماندگاری مغز گردو، تحقیقات مهندسی صنایع غذایی، ۱۷ (۲)، ۱۱۱-۱۰۱.

- شاهین، ر.، نایب‌زاده، ک.، علیزاده، ل.، و محمدی، ع.، ۱۳۹۲، بررسی اثرات آنتی‌اکسیدانی توکوفرول در مقایسه با TBHQ بر روند اکسیداسیون روغن مایونز طی مدت زمان ماندگاری، *علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، ۸ (۴)، ۲۳۶-۲۲۷.
- شهیدی نوقایی، م.، نیازمند، ر.، صراف، م.، و شهیدی نوقایی، م.، ۱۳۹۸، بررسی اثر آنتی‌اکسیدان و نگهدارنده‌ها بر ویژگی‌های اکسایشی و میکروبی کره گردو طی زمان ماندگاری، *نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*، ۸ (۲): ۱۶۴-۱۵۱.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۴، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام- روش جستجو و شمارش/شریشتی‌کلی با استفاده از روش بیشترین تعداد احتمالی، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۲۹۴۶، تجدید نظر دوم.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۴، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام - شمارش استافیلوکوکوسهای کواگولاز مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس و سایر گونه‌ها) - روش آزمون قسمت اول: روش استفاده از محیط کشت برد - پارکر آگار، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۶۸۰۶-۱ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۵، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام - روش جامع برای شمارش استافیلوکوکوسهای کواگولاز مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس و سایر گونه‌ها) قسمت سوم: جستجو، شناسایی و شمارش به شیوه محتمل‌ترین تعداد (MPN) برای تعداد کم میکروارگانیزم، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۶۸۰۶-۳ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۶، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام - روش جامع برای شمارش کلیفرم‌ها - روش شمارش کلنی، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۹۲۶۳ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۶، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام - روش جامع برای شمارش استافیلوکوکوسهای کواگولاز مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس و سایر گونه‌ها) قسمت دوم: روش استفاده از محیط کشت رابیت پلاسما فیبرینوژن آگار، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۶۸۰۶-۲ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۷، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام - روش جامع برای شناسایی و شمارش کلی فرمها، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۱۱۶۶ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۲، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام - روش شمارش کپک‌ها و مخمرها-قسمت ۳- روش شمارش کلنی در فراورده‌های با فعالیت آبی (A_w) مساوی یا کمتر از ۰/۰۶، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۱۰۸۹۹-۳ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۳، میکروبیولوژی زنجیره غذایی - روش جامع برای شمارش میکروارگانیزم‌ها-قسمت ۱- شمارش کلنی در ۳۰ درجه سانتی گراد با استفاده از روش کشت آمیخته، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۵۲۷۲-۱ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۳، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام - روش جامع برای جستجو و شناسایی گونه‌های سالمونلا، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۱۸۱۰، تجدید نظر چهارم.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴، روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی - کروماتوگرافی گازی متیل استرهای اسیدهای چرب- قسمت ۲- تهیه متیل استرهای اسیدهای چرب، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۱۳۱۲۶-۲ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴، روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی کروماتوگرافی گازی متیل استرهای اسید چرب - قسمت ۴- اندازه‌گیری با کروماتوگرافی گازی موئینه، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۱۳۱۲۶-۴ چاپ اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴، فراورده‌های حجیم شده بر پایه بلغور و آرد غلات - ویژگی‌ها و روشهای آزمون، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۲۸۸۰، تجدید نظر چهارم.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴، کره بادام زمینی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۵۶۹۰، تجدید نظر اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۵، روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی - اندازه‌گیری عدد آنیزیدین - روش آزمون، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۴۰۹۳، تجدید نظر دوم.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۷، یسکویت - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، *استاندارد ملی ایران*، شماره ۳۷، تجدید نظر هشتم.
- AOAC, 2000, Official methods of analysis, Association of official analytical chemist society.
- Beeva, D. A., Borisov, V. A., Mikitaev, A. K., Ligidov, M. Kh., Beev, A. A., and Barokova, E. B., 2015, Controlling the barrier properties of polyethylene terephthalate. A review, *International Polymer Science and Technology*, 42(7), 45-52.
- Caglarirmak, N.; and Batkan, A.C., 2005, Nutrients and biochemistry of nuts in different consumption types in turkey. *Journal of Food Processing and Preservation*, 29, 407-423.
- Chien, Y. H., 2015, Shelf life extension of seed butter made with sesame, sunflower and pumpkin seeds, B.S. Graduate Program in Food Science and Technology, The Ohio State University.

- Choe, E., and Min, D. B., 2006, Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 169–186.
- Delgado-Lista, J., Perez-Martinez, P., Lopez-Miranda, J., and Perez-Jimenez, F., 2012, *Brazilian Journal of Nutrition*, 107 (2), 201-13.
- Mohd Rozalli, N. H., Chin, N. L., Yusof, Y. A. and Mahyudin, N., 2016, Quality changes of stabilizer-free natural peanutbutter during storage, *Journal of Food Science and Technology*, 53(1): 694–702.
- Nepote, V., Olmedo, R.H., Mestrallet, M.G., and Grosso, N.R., 2009, A study of the relationships among consumer acceptance, oxidation chemical indicators, and sensory attributes in high-oleic and normal peanuts. *Journal of Food Science*, 74 (1), 1-8.
- Pidatala, P. K., 2011, Oxidative stability of peanut butter bites, Honours (BSc) research project, Sastra University, Thanjavur, India.
- Riveros, C. G., Mestrallet, M. G., Nepoteband, V., and Grosso, N. R., 2009, Chemical composition and sensory analysis of peanut pastes elaborated with high-oleic and regular peanuts from Argentina, *Grasas y Aceites*, 60 (4), 388-395.
- SAS Institute, 2002, SAS 9.1 User's Guide. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc.
- Schorro, A. L., Manthey, F.A., and Hall, C.A., 2009, Effect of particle size and sample size on lipid stability of milled flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 34 (1), 167–169.
- Shahidi, F., and John, J., 2013, Oxidative rancidity in nuts, In: *Improving the Safety and Quality of Nuts*, Woodhead Publishing, Cambridge, 198-229.
- Shakerardekani, A., 2015, Factors affecting production, sensory properties and oxidative stability of nut butters and nut spreads-a review. *American Journal of Food Science and Nutrition Research*, 2 (3), 83-88.
- Velasco, J., Dobarganes, C., and Marquez-Ruiz, G., 2010, Oxidative rancidity in foods and food quality. In: *Chemical deterioration and physical instability of food and beverages*. Wood head Publishing, Cambridge, 3 – 32.
- Williamson, S., 1998, Detection of rancidity in peanuts, Honours (BSc) research project, Edith Cowan university.
- Woodroof, J. G., 1983, Peanut Butter. In: *Peanuts: production, processing, products*. The AVI Publishing Company, Westport, Connecticut, 181–225.
- Zajdenweg, C., Branco, G.F., Alamed, J., Decker, E.A., and Castro, I. A., 2011, Correlation between sensory and chemical markers in the evaluation of Brazil nut oxidative shelf- life . *European Food Research and Technology*, 233, 109-116.



Evaluation of temperature and storage time on oxidation of peanut butter

M. Ravaghi^{1*}, A. Khodabakhshian²

Received: 2019.10.14

Accepted: 2020.11.12

Introduction: Peanut is a high-protein, nutrient-rich legume that is popular all around the world. Peanut butter is a kind of food paste made from ground roasted peanuts. It is found to be one of the most susceptible food products to oxidation due to its high content of PUFAs. Peroxide value is the only mentioned parameter for oxidation of peanut butter according to ISIRI 5690. Although oxidation pathways are mostly known, there are a lot of ambiguities about oxidation in real situations after production and during storage so there is a lack of studies in this field.

Materials and Methods: The present study investigated the effect of packaging and storage conditions on the oxidation of peanut butter in polypropylene single serving cup (PP) and polyethylene terephthalate (PET) jar due to widespread applications of these plastic materials in food industries. Peanut butter stabilized with mono and di-glycerides was filled in PP single serving cup (size: 30 g), and PET jar (250 g), then heat sealing was applied. Determination of chemical composition (moisture, fat, protein, sugar, ash and salt), fatty acids profile and microbial quality (total count, coliform, *E. coli*, coagulase positive Staphylococci, Salmonella, mold and yeast) was performed for produced samples. The study was conducted for 160 days at storage temperature of 4, 25 and 40°C on peanut butter and storage stability at specific time intervals (0, 30, 60, 90, 120, 160 days) was evaluated for changes in *p*-Anisidine value, peroxide value, acidity and sensory analysis. All analyses were carried out in triplicate and significant differences were determined using Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Results and Discussion: Peanut butter had a fat content of $54.55 \pm 0.85\%$ which contained 80.92% unsaturated fatty acids (57.57% MUFAs and 23.35% PUFAs). PUFAs are susceptible to oxidation and are easily incorporated into the chain reaction mechanisms of lipid degradation. There was no sign of microbial contamination in produced peanut butter. Time and temperature had a significant interaction on peroxide value, *p*-Anisidine value, acidity and sensory analyses in both of packaging materials. Different trends were observed in peroxide value data of peanut butter packaged in different plastics. Peroxide values were higher in PP compared with PET due to higher oxygen permeability through PP. PP cups stored at 40°C had the highest amounts of peroxide value (52.55 ± 2.27 mEq/kg) and *p*-Anisidine value (4.10 ± 0.22). Oxidation of peanut butter in PET jar occurred at lower rate. One notable point is that peroxide value at 40°C (4.61 ± 1.04 mEq/kg) was less than 4°C (15.51 ± 1.09 mEq/kg) and 25°C (14.19 ± 0.78 mEq/kg) after 160 days. These values never reached the maximum standard limit (12 mEq/kg) at 40°C. Temperature of 4°C might not provide enough energy to convert hydroperoxides into other oxidation products so peroxides accumulated in peanut butter. Though significant differences were observed among data of acidity in both of packaging materials but differences were not large enough to be of value in a practical sense. As it was expected peanut butter did not provide its initial fresh taste especially at higher temperature but no sign of off-flavor and rancidity was detected by panelists. According to the obtained results, using polypropylene single serving cup for peanut butter led to decrease its shelf life due to its higher permeability to oxygen. In this situation samples should be kept under cold storage. To overcome this problem coated PP or other plastic materials with higher oxygen barrier properties are suggested. Peroxide value was the only indication of oxidation which was mentioned in ISIRI 5690, while it seems that determination of such a parameter in this product is not a proper index of quality.

Keywords: Oxidation, Temperature, Storage time, *p*-Anisidine value, Peroxide value, Peanut butter.

1. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

2. Quality Control Manager, Esfahan, Iran

(*Corresponding Authors E-mail: ravaghi.maryam@gmail.com)



مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر پوشش نانومولسیون اسانس زرين گیاه در محلول کیتوزان بر ویژگی‌های کیفی گندم جوانه‌زده با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)

نسیم نجفی^۱ - هاجر عباسی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

چکیده

بذرهای جوانه‌زده به دلیل فعالیت آبی بالا و حساسیت فراوان به عوامل قارچی عمر انباری بسیار کوتاهی دارد. لذا، استفاده از روش‌های ایمن برای کنترل فساد و حفظ کیفیت جوانه‌های خوراکی در زمان نگهداری، امری ضروری است. کاربرد موفقیت‌آمیز کیتوزان و اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی در فرمولاسیون پوشش‌های خوراکی از یک طرف و اثبات افزایش خاصیت ضدقارچی در اثر کاهش اندازه ذرات کیتوزان از طرف دیگر، موجب شد تا در پژوهش حاضر، کارایی نوعی پوشش خوراکی نانومولسیونی حاوی کیتوزان و اسانس زرين گیاه با هدف حفظ کیفیت، تاخیر در فساد و افزایش زمان نگهداری گندم جوانه‌زده بررسی شود. زرين گیاه یا بادرنجوبه دنايي (*Dracocephalum kotschy L.*) گیاهی چندساله از خانواده *Lamiaceae* است که اسانس آن حاوی ترکیبات بیولوژیک فعال ارزشمند مانند فلاونوئیدها، رزمارینیک اسید و گلیکوزیدهای مونوترپن می‌باشد. در این تحقیق، برای بهینه‌یابی شرایط پوشش‌دهی از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی در ۵ سطح اسانس (صفر، ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ ppm)، کیتوزان (صفر، ۰/۱۳، ۰/۳۸، ۰/۶۳ و ۰/۷۵٪) و زمان غوطه‌وری (۱۰، ۲۵، ۵۵، ۸۵ و ۱۲۰ ثانیه) استفاده شد. در شرایط بهینه، نتایج حاصل از ویژگی‌های کیفی محصول منتخب (pH، افت وزن، فنول کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسید آسکوربیک، سفتی بافت) و خصوصیات حسی آن (طعم، عطر و بو، رنگ، بافت، پذیرش کلی) ارزیابی و با نمونه شاهد مقایسه گردید. نتایج نشان داد، افزایش همزمان کیتوزان و زمان غوطه‌وری موجب حفظ بهتر ترکیبات فنولیک محصول گردید. افزایش اسانس تا حدود ۱۵۰ ppm و کیتوزان تا محدوده ۰/۳۸٪ موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول گردید. اثرات متقابل این متغیرهای نیز در همین محدوده حفظ سطوح بالاتری از محتوی اسید آسکوربیک گندم جوانه‌زده را به همراه داشت. اثر متقابل اسانس و کیتوزان و همچنین اثر متقابل کیتوزان و زمان غوطه‌وری در مقادیر بالا موجب حفظ بهتر بافت تیمارها شد. پوشش حاوی ۰/۲۵٪ کیتوزان و ۸۴/۱۸ ppm اسانس زرين گیاه به همراه ۲۵۵ غوطه‌وری، به عنوان بهترین تیمار جهت حفظ ویژگی‌های کیفی گندم جوانه‌زده معرفی گردید. بررسی و مقایسه ویژگی‌های نمونه بهینه پوشش‌دهی شده و شاهد طی زمان نگهداری گندم جوانه‌زده نشان داد که علاوه بر تأثیر مثبت نانومولسیون حاوی کیتوزان و اسانس زرين گیاه در کاهش افت وزن و حفظ بهتر محتوی اسید آسکوربیک، پلی‌فنول کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و سفتی بافت، این پوشش هیچ‌گونه تأثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های حسی ندارد.

واژه‌های کلیدی: گندم جوانه‌زده، پوشش نانومولسیونی، کیتوزان، زرين گیاه، ترکیبات فنولیک، سفتی بافت.

مقدمه

نم‌جنین می‌گردد و سنتز ترکیبات جدید سلولی موجب بروز تغییرات معنی‌داری در ویژگی‌های بیوشیمیایی دانه می‌شود. همچنین، هیدرولیز پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها و سنتز و تجمع متابولیت‌های حاصله موجب بهبود خصوصیات سلامتی بخش دانه جوانه‌زده برای انسان می‌شود (Duenas et al., 2009).

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی انسان‌ها دارد. این محصول تأمین‌کننده ۲۰ درصد انرژی و ۷۸-۹۳ درصد پروتئین موجود در رژیم غذایی بشر می‌باشد (محسن نسب و همکاران، ۱۳۸۹). گندم جوانه‌زده منبع غنی از پروتئین، فیبر رژیمی، مواد معدنی، ویتامین‌ها، فیتواسترول‌ها است (Hruskova et al., 2000). وجود مقدار بالایی چربی‌های غیراشباع و فعالیت آنزیم‌های اکسیدکننده و هیدرولیزکننده مانند لیپاز و لیپواکسیژناز در

جوانه‌زنی بذر فرایندی است که با جذب آب آغاز می‌شود و پس از یک وقفه کوتاه و فعال شدن پروتئین‌های آنزیمی ادامه می‌یابد. از این‌رو جوانه زدن بذر عبارت است از مجموعه فعالیت‌هایی که در نتیجه آن جنین رشد خود را شروع کرده و پوشش بذر را شکافته و گیاه جدیدی ایجاد می‌شود که می‌تواند مستقلاً به زندگی خود ادامه دهد. در طی تنفس و جوانه‌زنی، ترکیبات موجود در گیاه صرف رشد و

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: h.abbasi@khuif.ac.ir

دال بر آن است که پوشش کیتوزان در میوه لونگان موجب کاهش میزان تنفس و فعالیت آنزیم پلی فنولاز و همچنین کاهش سرعت فساد و بهبود حفظ سفتی بافت و محتوی اسید آسکوربیک شده است (Jiang & Li, 2001). در پژوهشی دیگر Xing و همکاران (۲۰۱۱) اثر پوشش کیتوزان غنی شده با روغن دارچین را بر ویژگی‌های کیفی فلفل شیرین نگهداری شده در دمای ۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۵ روز بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد تغییرات رنگ و میزان کلروفیل برای تمامی فلفل‌های سبز پوشش داده شده در مقایسه با نمونه بدون پوشش ناچیز و پس از پایان دوره نگهداری هنوز سبز بودند.

گیاه بادرنجبویه دنیایی یا زرین گیاه با نام علمی *Dracocephalum kotschy*، یکی از گیاهان دارویی بومی ایران و از خانواده نعنائیان است که تنوع زیادی در منطقه مدیترانه دارد و لیمونین، رزانیول، الکل پرلیل و کاریوفیلین از ترکیبات موثره اصلی آن می‌باشند (کمالی و همکاران، ۱۳۹۳). زرین گیاه، گیاهی است نیمه چوبی به طول ۲۰ سانتی‌متر با ساقه‌های متعدد چوبی، برگ‌های دمبردار تخم مرغی شکل و گل‌های سفید متمایل به زرد که از اوایل اردیبهشت ماه ظاهر شده و تا تیرماه باقی می‌ماند (Jahaniani et al., 2005). از این گیاه در طب سنتی جهت کاهش تب، درد مفاصل، روماتیسم و التیام دهنده زخم استفاده می‌شود. اسانس حاصل از این گیاه متشکل از فلاونوئید، رزماریک اسید و گلیکوزیدهای مونوترپن است و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد. باید اشاره داشت که اسانس زرین گیاه به واسطه‌ی وجود رزماریک اسید، فعالیت‌های زیستی قابل توجهی از جمله خواص ضدویروسی، ضدباکتریایی و نگهدارندگی دارد (Xiao et al., 2009). این ویژگی اسانس زرین گیاه می‌تواند در حفظ ویژگی‌های کیفی محصولات غذایی از آلودگی‌های میکروبی بسیار مؤثر باشد.

با توجه به ارزشمندی جوانه دانه غلات از جمله گندم از نظر تغذیه‌ای و عمر نگهداری کوتاه آنها به واسطه فعالیت‌های آنزیمی و رطوبت بالا، اعمال راه‌کارهایی به منظور افزایش عمر نگهداری و کیفیت این محصولات ضرورت دارد. نظر به فقدان اطلاعات کافی در این زمینه، هدف از این پژوهش، بررسی امکان پوشش‌دهی گندم جوانه‌زده با استفاده از نانوامولسیون کیتوزان و اسانس زرین گیاه و بررسی تأثیر غلظت اسانس زرین گیاه، غلظت کیتوزان و مدت زمان غوطه‌وری بر ویژگی‌های کیفی گندم جوانه‌زده می‌باشد. در این پژوهش، از روش سطح پاسخ برای دستیابی به فرمولاسیون بهینه پوشش گندم جوانه‌زده با نانوامولسیون حاوی کیتوزان و اسانس زرین گیاه با هدف حفظ ویژگی‌های کیفی و بهبود عمر ماندگاری این محصول استفاده گردید. در ادامه، نمونه بهینه معرفی شده توسط روش سطح پاسخ و نمونه تجاری (بدون پوشش)، از نقطه نظر ویژگی‌های کیفی و ارگانولپتیکی مورد مقایسه قرار گرفت.

گندم جوانه‌زده موجب تخریب اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌ها و کاهش عمر ماندگاری محصول می‌گردد (Moreau & Kamal-Eldin, 2009). در سال‌های اخیر، تلاش‌های فراوانی در راستای افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه و حفظ ارزش تغذیه‌ای آنها در زمان انبارمانی با روش‌هایی غیر از استفاده از نگهدارنده‌های سنتزی صورت گرفته است. استفاده از پلیمرهای طبیعی حاوی اسانس‌ها و عصاره‌های طبیعی با منشاء گیاهی به عنوان پوشش‌های خوراکی یکی از راهکارهای نوین برای حفظ کیفیت و افزایش زمان ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه است. پوشش‌های خوراکی مناسب باید ممانعت‌کنندگی مناسبی در برابر گازها به‌ویژه اکسیژن و بخار آب داشته باشد و از خصوصیات سطحی خوبی برخوردار باشد (Corbo et al., 2010). در مطالعه انجام گرفته توسط Dambrosio و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده بر کیفیت جوانه کینوا در طول انبارداری سرد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (۵٪ اکسیژن و ۳۰٪ دی‌اکسید کربن) موجب حفظ سفتی بافت جوانه‌ها و کاهش تولید مواد بد طعم‌کننده اتانول و استالئید و در نهایت، بهبود عمر ماندگاری جوانه کینوا گردید. در تحقیقی دیگر در رابطه با تأثیر بسته‌بندی تحت خلاء در فشارهای مختلف صفر، ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ مگاپاسکال و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بر ویژگی‌های کیفی جوانه ماش، نتایج بیانگر آن بود که بسته‌بندی تحت خلاء توأم با اعمال دمای پایین حین نگهداری سبب مهار فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول‌اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شده و سرعت فرایندهای قهوه‌ای شدن را کم کرده است. همچنین، بسته‌بندی فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده سلولاز و زایلاناز^۱ را کاهش داده و در نهایت باعث کاهش افت وزن و شمارش کلی میکروب‌ها و حفظ استحکام بافت جوانه‌ها شده است (Zhang et al., 2018).

کیتوزان، پلیمر B (۴ و ۱) ان- استیل دی گلوکز آمین، از استیل‌زدایی کیتین استخراج شده از سخت پوستان، حشرات و قارچ‌ها تولید می‌شود که خواص ضد میکروبی و درمانی بسیار زیادی دارد. امروزه پوشش کیتوزان به دلیل غیرسمی بودن، زیست تخریب‌پذیر بودن کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است (Dutta et al., 2009). کیتوزان به دلیل دارا بودن خواص نیمه‌تراوایی در بسته‌بندی مواد غذایی که در آنها به اصلاح اتمسفر درونی نیاز است، به کار می‌رود. فیلم‌ها و پوشش‌های برپایه کیتوزان، نفوذپذیری نسبی به بخار آب دارند و مانع خوبی برای گاز اکسیژن به‌شمار می‌آیند. کیتوزان در واقع، نوعی ماده ضد میکروبی است که می‌تواند میزان مصرف نگهدارنده‌های سنتزی را کاهش دهد و باعث افزایش زمان انبارمانی و ایمنی محصولات غذایی شود (Liu et al., 2008). نتایج تحقیقات

مواد و روش‌ها

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش همچون گندم (پاکان بذری اصفهان)، کیتوزان (شایان شیمی) و زربین گیاه (*Dracocephalum kotschy*) از (بازار گیاهان دارویی اصفهان) تهیه گردیدند. کلیه مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش، با خلوص بالا از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

آماده‌سازی نانومولسیون حاوی اسانس زربین گیاه کیتوزان

محلول کیتوزان با حل کردن ۰/۷۵ درصد وزنی / حجمی کیتوزان در اسید استیک ۰/۵ درصد حجمی / حجمی با pH برابر ۵/۸ به‌دست آمد. به‌منظور حل شدن بهتر کیتوزان، محلول به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق با همزن مغناطیسی هم‌زده شد (Ojagh et al., 2010). اسانس زربین گیاه با استفاده از روش تقطیر با آب به مدت ۴ ساعت با دستگاه کلونجر (10-85000) تهیه شد و به‌عنوان فاز روغنی با نسبت مساوی با توئین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت به‌وسیله همزن مغناطیسی مخلوط گردید. مخلوط به‌دست آمده بر روی همزن مغناطیسی با سرعت ۷۰۰ دور بر دقیقه به آرامی به فاز آبی (محلول کیتوزان)، اضافه شد. سپس امولسیون تهیه شده به مدت ۱ دقیقه در سونیکاتور قرار گرفت (Anuchapreeda et al., 2012). تعیین اندازه ذرات و شاخص بس‌پاشیدگی نانومولسیون‌های حاصل مطابق با روش Tang و همکاران (۲۰۱۲) انجام گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری متوسط قطر و توزیع اندازه قطرات از دستگاه انکسار نور لیزر (Malvern, zetasizer nano، انگلستان) استفاده شد. برای محاسبه قطر متوسط ذرات که با نماد d_{43} (قطر حجم - طول) نمایش داده می‌شود، از رابطه (۱) استفاده گردید.

$$D_{43} = \sum z_i d_i^4 / \sum z_i d_i^3 \quad (1)$$

در معادله فوق، تعداد ذرات z_i با قطر d_i می‌باشد.

همچنین شاخص بس‌پاشیدگی با توجه به منحنی توزیع اندازه ذرات توسط نرم‌افزار دستگاه، در دمای محیط و با سه تکرار محاسبه شد.

تهیه گندم جوانه‌زده

برای تهیه جوانه گندم، ابتدا دانه‌های گندم در محلول هیپوکلریت سدیم با غلظت ۰/۰۷ درصد به مدت ۱۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. سپس، نمونه‌های ضدعفونی شده، شسته و به مدت ۱۲ ساعت در آب و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد خیس‌انده شدند. پس از اتمام مرحله خیس‌اندن، نمونه‌ها در اتاقک رشد با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۸ درصد به مدت ۴۸ ساعت به‌منظور جوانه‌زنی قرار گرفتند (استاندارد ملی ایران، ۵۸۳۳).

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی گندم جوانه‌زده

اندازه‌گیری محتوی رطوبت، خاکستر، چربی، پروتئین و فیبر گندم جوانه‌زده مطابق روش‌های استاندارد صورت پذیرفت (AOAC (۲۰۰۰). محتوی اسید آسکوربیک نمونه با استفاده از روش تیتراسیون با معرف ۲،۶- دی کلروفل اندوفل اندازه‌گیری شد (۹۶۷/۲۱- AOAC (۲۰۰۰). املاح معدنی گندم جوانه‌زده شامل سدیم، پتاسیم، منیزیم، منگنز، آهن، کلسیم و روی پس از هضم نمونه با ۶ میلی‌لیتر مخلوط اسید کلریدریک و اسید نیتریک به نسبت (۳:۱)، توسط دستگاه پلاسما جفت شده القایی (Varian، آمریکا) اندازه‌گیری شدند (Bressy et al., 2013).

پوشش‌دهی گندم جوانه‌زده

نمونه‌های گندم جوانه‌زده در نانومولسیون حاصل شده با نسبت ۲۰۰ گرم جوانه گندم در ۳۰۰ میلی‌لیتر محلول در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد غوطه‌ور شدند و باقیمانده امولسیون پس از عبور از صافی خارج گردید. سطح نمونه‌های پوشش داده شده در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد خشک شد، در پوشش‌های پلی‌پروپیلنی قرار گرفت و تحت اتمسفر اصلاح یافته با ۳۰٪ اکسیژن و ۷۰٪ نیتروژن با فیلم‌های دو لایه پلی‌پروپیلن پلی‌اتیلن به صورت Fill- با دستگاه vacum NPR1000 (نادی پک) بسته‌بندی شدند. نمونه‌ها به مدت ۱۲ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵-۸۰ درصد نگهداری شدند (خوش‌گردش و همکاران، ۱۳۹۳).

ارزیابی ویژگی‌های کیفی گندم جوانه‌زده

pH

اندازه‌گیری pH نمونه‌ها، مطابق با روش استاندارد ۹۸۱،۱۲- AOAC (۲۰۰۰) انجام گرفت.

افت وزن

درصد افت وزن نمونه‌ها از طریق اندازه‌گیری اختلاف بین وزن اولیه و وزن ثانویه و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Athmaselvi et al., 2013).

$$\text{افت وزن} = (W_1 - W_2 / W_1) \times 100 \quad (2)$$

در رابطه فوق، W_1 وزن اولیه (گرم)، W_2 وزن ثانویه (گرم) می‌باشد.

اندازه‌گیری فنول کل

محتوی فنولیک کل بر اساس روش رنگ‌سنجی و با استفاده از معرف فولین سیوکالتو مطابق با روش ارائه شده توسط Sayyari و همکاران (۲۰۱۱) با اندکی تغییرات تعیین گردید. در این راستا، ۰/۲۵

سفتی بافت

برای ارزیابی ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها، از دستگاه بافت‌سنج (Hounsfield H512S، آلمان) و آزمون فشردن استفاده گردید. در این راستا، حداکثر نیروی لازم برای حرکت یک پروب استوانه‌ای به قطر ۳۹ میلی‌متر، با سرعت ۶۰ میلی‌متر بر ثانیه به عمق ۴۰ میلی‌متر در استوانه‌ای که تا ارتفاع ۵۵ میلی‌متر از آن با نمونه پر شده بود (حدود ۳۰ گرم)، به‌عنوان شاخص سفتی محصول ارزیابی گردید (Lee *et al.*, 2003).

مقایسه پارامترهای کیفی نمونه بهینه و شاهد

پس از مدل‌سازی و بررسی تاثیر متغیرهای مستقل بر تغییرات متغیرهای وابسته، نمونه‌های بهینه و شاهد از نظر ویژگی‌های کیفی از جمله pH، افت وزن، محتوی فنول کل، درصد بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH و سفتی بافت در بازه‌های زمانی صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ روز مورد بررسی قرار گرفتند.

ارزیابی ویژگی‌های حسی نمونه‌های بهینه و شاهد با قضاوت ۲۰ داور آموزش داده شده انجام پذیرفت. ارزیاب‌ها نمونه‌ها را از نظر طعم و مزه، عطر و بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی ارزیابی و امتیازبندی نمودند. به این منظور از روش درجه بندی هدونیک ۶ نقطه‌ای (عدد ۱ بسیار بد - عدد ۶ بسیار خوب) استفاده شد.

میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده با ۲/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین سیوکالتو (۱۰ برابر رقیق شده با آب) مخلوط شد. پس از ۳-۶ دقیقه، مقدار ۲ میلی‌لیتر سدیم کربنات ۷/۵ درصد به محلول اضافه و مخلوط گردید. جذب نوری محلول‌ها پس از گذشت ۳۰ دقیقه در تاریکی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل Unico2100 در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید. مقدار فنول کل موجود در نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه محاسبه شد.

تعیین درصد بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH

برای اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال آزاد DPPH عصاره، به ۰/۲۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی، ۴ میلی‌لیتر محلول متانولی ۲،۲-دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل (۰/۰۰۴ درصد) اضافه شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه در تاریکی، میزان جذب نوری محلول‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (CECIL، انگلستان) اندازه‌گیری شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH توسط آنتی‌اکسیدان‌ها با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Martuccia *et al.*, 2015).

(۳) $\text{جذب شاهد} / \text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد} \times 100 = \text{درصد بازدارندگی فعالیت رادیکال آزاد DPPH}$

جدول ۱- ترکیب متغیرهای مستقل در تیمارهای مختلف مطابق طرح آماری سطح پاسخ RSM

تیمار	اسانس زرين گياه (ppm)	کیتوزان (%)	زمان غوطه‌وری (s)	تیمار	اسانس زرين گياه (ppm)	کیتوزان (%)	زمان غوطه‌وری (s)
۱	۱۵۰	۰/۷۵	۵۵	۱۱	۰	۰/۳۸	۵۵
۲	۱۵۰	۰/۳۸	۵۵	۱۲	۱۵۰	۰/۳۸	۵۵
۳	۲۵۰	۰/۱۳	۲۵	۱۳	۵۰	۰/۶۳	۸۵
۴	۵۰	۰/۱۳	۸۵	۱۴	۱۵۰	۰/۳۸	۱۰
۵	۵۰	۰/۱۳	۲۵	۱۵	۱۵۰	۰/۳۸	۵۵
۶	۱۵۰	۰/۳۸	۱۰۰	۱۶	۱۵۰	۰/۳۸	۵۵
۷	۱۵۰	۰/۳۸	۵۵	۱۷	۲۵۰	۰/۱۳	۸۵
۸	۱۵۰	۰	۵۵	۱۸	۳۰۰	۰/۳۸	۵۵
۹	۲۵۰	۰/۶۳	۲۵	۱۹	۲۵۰	۰/۶۳	۸۵
۱۰	۱۵۰	۰/۳۸	۵۵	۲۰	۵۰	۰/۶۳	۲۵

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق، به‌منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل شامل غلظت اسانس زرين گياه (۳۰۰-صفر ppm) (A) و غلظت کیتوزان (۰/۷۵-صفر درصد) (B) در نانومولسیون و مدت زمان غوطه‌وری (۱۲۰-۱۰ ثانیه) (C) بر تغییرات ویژگی‌های کیفی نمونه‌ها (فنول کل، درصد بازدارندگی رادیکال‌های آزاد DPPH، اسید آسکوربیک، سفتی

بافت) از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ورژن ۹ و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با α برابر ۱/۵ و ۶ نقطه مرکزی استفاده شد. کلیه بررسی‌های آماری در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. ۲۰ تیمار توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت پیشنهاد گردید (جدول ۱)، که در این جدول سطوح متغیرهای مستقل در تیمارهای مختلف نمایش داده می‌شود. در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود

که آثار اصلی و متقابل متغیرهای مستقل بر تغییرات فاکتور موردنظر را بیان می‌کند. در رابطه (۴)، Y پاسخ پیش بینی شده، β_0 ضریب ثابت، $\beta_a, \beta_b, \beta_c$ اثرات خطی، $\beta_{aa}, \beta_{bb}, \beta_{cc}$ اثرات مربعی و $\beta_{ab}, \beta_{ac}, \beta_{bc}$ اثرات متقابل می‌باشند.

(۴)

$$Y = \beta_0 + \beta_a A + \beta_b B + \beta_c C + \beta_{aa} A^2 + \beta_{bb} B^2 + \beta_{cc} C^2 + \beta_{ab} AB + \beta_{ac} AC + \beta_{bc} BC$$

آنالیز نتایج به‌دست آمده از مقایسه نمونه بهینه و نمونه شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SAS ver: 9.1 صورت گرفت. به‌منظور مقایسه میانگین‌ها و بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین آنها، از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح معنی‌داری ($P < 0.05$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی و تغذیه‌ای گندم جوانه‌زده

در این پژوهش چندین پارامتر شیمیایی از جمله میزان رطوبت، پروتئین، چربی، خاکستر، فیبر، ویتامین ث و عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، منگنز، آهن و روی نمونه گندم جوانه‌زده اندازه‌گیری

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی گندم جوانه‌زده

ترکیبات	میزان
رطوبت	$1/2 \pm 47/31$ (گرم در ۱۰۰ گرم براساس وزن مرطوب)
پروتئین	$0/93 \pm 11/69$ (گرم در ۱۰۰ گرم براساس وزن خشک)
چربی	$0/17 \pm 2/5$ (گرم در ۱۰۰ گرم براساس وزن خشک)
خاکستر	$0/05 \pm 0/5$ (گرم در ۱۰۰ گرم براساس وزن خشک)
فیبر	$0/80 \pm 3/49$ (گرم در ۱۰۰ گرم براساس وزن خشک)
ویتامین ث	$0/09 \pm 1/72$ (mg/100g)
سدیم	$0/04 \pm 19/99$ (mg/kg)
پتاسیم	$0/04 \pm 619/3$ (mg/kg)
کلسیم	$0/90 \pm 79/13$ (mg/kg)
منیزیم	$0/03 \pm 129/4$ (mg/kg)
منگنز	$0/10 \pm 10/98$ (mg/kg)
آهن	$0/22 \pm 10/3$ (mg/kg)
روی	$0/06 \pm 8/92$ (mg/kg)

نتایج به‌صورت میانگین سه تکرار $\pm$ انحراف معیار گزارش شده است.

معنی‌دار ارزیابی شد که نشان دهنده تأثیر توأم متغیرها بر اندازه ذرات نانومولسیون می‌باشد ($P < 0.001$). بر طبق معادله ۲ متغیرهای غلظت اسانس و کیتوزان اثر خطی معنی‌داری بر اندازه ذرات نانومولسیون داشت، به‌طوری‌که با افزایش غلظت اسانس زربین گیاه و کیتوزان اندازه

بررسی اندازه ذرات نانومولسیون

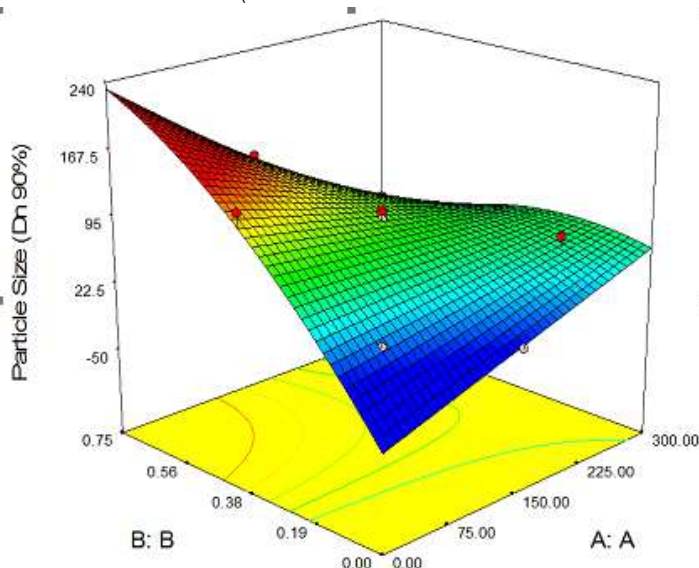
مطابق با نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، مدل به‌دست آمده از اندازه ذرات نانومولسیون ($Dn90\%$) با متغیرهای مورد بررسی معنی‌دار است ($P < 0.001$). اثر متقابل متغیرهای اسانس و کیتوزان نیز

اثر متقابل اسانس و کیتوزان بر افزایش ابعاد ذرات نانوامولسیون از اثرات اصلی متغیرها کمتر و در سطوح بالای مصرف آنها در محدوده مورد بررسی تاثیر معکوس مشاهده شد (شکل ۱). کاهش اندازه ذرات نانوامولسیون در مقادیر بالای کیتوزان با وزن مولکولی بالا، به فعالیت سطحی و بار الکتریکی مولکولهای کیتوزان و همچنین فعل و انفعالات میان آن با اسانس زرین گیاه، نحوه توزیع بارها و افزایش نیروی دافعه الکترواستاتیک ناشی از ناسازگاری ترمودینامیکی بین این دو ترکیب مربوط است (Chaudhery et al., 2010 & Zhou et al., 2019).

ذرات نانوامولسیون افزایش یافت. با افزایش غلظت اسانس، سورفاکتانت کافی جهت پوشاندن ذرات اسانس تازه شکل گرفته، وجود نداشت و در نتیجه ذرات جدید تشکیل شده، به یکدیگر پیوسته و ذرات بزرگتری را ایجاد کردند. به علاوه، افزایش غلظت اسانس سبب افزایش گرانیوی فاز پراکنده و کاهش نرخ برش در طی فرایند همگن سازی و در نهایت ایجاد ذرات بزرگتر می شود (Mirhosseini et al., 2008).

$$Y = -41.36 + 0.34A + 556.98B + 1.52AB - 254.99B^2 \quad (2)$$

(اندازه ذرات نانوامولسیون)



شکل ۱- اثر متقابل اسانس و کیتوزان بر تغییرات اندازه ذرات نانوامولسیون (Dn90%)

غلظت اسانس، غلظت کیتوزان و زمان غوطه وری بر تغییرات pH و افت وزن نمونه ها معنی دار نبود. نتایج تجزیه واریانس متغیرهای پاسخ در جدول ۳ آورده شده است.

پلی فنول کل

نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می دهد که تغییرات متغیرهای مستقل بر تغییرات فنول کل محصول معنی دار است ($P < 0.001$). اثرات متقابل برخی متغیرهای مورد بررسی در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد معنی دار بود و نشان دهنده تاثیر توأم متغیرها بر میزان فنول کل می باشد. اثر مستقل غلظت اسانس زرین گیاه و زمان غوطه وری بر محتوی فنول کل محصول منفی و معنی دار است (جدول ۴)، که می تواند به خاصیت پرواکسیدانی غلظت های بالای ترکیبات موجود در اسانس مربوط شود. در این راستا، اکسیداسیون برخی از ترکیبات فنولی حساس، در زمان های طولانی تر غوطه وری در اسانس گزارش شده است (Mimica-Dukić et al., 2016). اثر متقابل کیتوزان و زمان غوطه وری بر محتوی فنول کل گندم جوانه زده مثبت ارزیابی شد

ویژگی های کیفی گندم جوانه زده پوشش داده شده با نانوامولسیون اسانس زرین گیاه- کیتوزان

به منظور به دست آوردن مدل تجربی برای پیش بینی متغیرهای پاسخ (pH، افت وزن، فنول کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی، اسید آسکوربیک، سفتی بافت) ابتدا رابطه های چند جمله ای شامل خطی، دو فاکتوری (تعاملی) و درجه دو بر داده های به دست آمده از این پاسخ برازش داده شدند و سپس این مدل ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی دار نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد. نتایج نشان داد مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات فنول کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی، اسید آسکوربیک و سفتی بافت در اثر تغییر کمیت متغیرهای مورد بررسی (غلظت اسانس زرین گیاه، غلظت کیتوزان، زمان غوطه وری)، مدلی درجه دو با ضریب تعیین ($R^2 > 0.90$) می باشد. هیچ یک از مدل های خطی، متقابل و درجه دو نتوانستند تغییرات pH و افت وزن را به خوبی مدلسازی و پیش گویی کنند. در واقع اثر خطی، درجه دوم، اثر متقابل متغیرهای مستقل

تأثیر متقابل غلظت اسانس و زمان غوطه‌وری بر حفظ بهتر محتوی فنول کل گندم جوانه‌زده شده نیز مثبت و معنی‌دار است (شکل ۲ ب).

(شکل ۲ الف)). این مشاهده به تأثیر کیتوزان بر غیرفعال‌سازی آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز و تأثیر متقابل سینرژیستی آن با زمان غوطه‌وری مربوط می‌شود (Mirdehghan et al., 2007).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر غلظت اسانس زربین گیاه، غلظت کیتوزان و زمان غوطه‌وری بر اندازه ذرات نانوامولسیون (Dn90%) و ویژگی‌های کیفی گندم جوانه‌زده (pH افت وزن، فنول کل، ظرفیت آنتی اکسیداتی، اسید آسکوربیک، سفتی بافت)

پاسخ																					
سفتی بافت			اسید آسکوربیک			درصد بازدارندگی DPPH آزاد			فنول کل			اقت وزن			pH			اندازه ذرات ناموالمسیون			منبع تغییرات
مجموع	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی		
۲۹۹/۰۸***	۷	۱/۱***	۹	۷۳۵/۰۲***	۵	۱۶۵/۷۶***	۶	۰/۰۶۳ ^{NS}	۹	۰/۰۴۴ ^{NS}	۹	۲۲۲۰۰/۹۵***	۴	۲۲۲۰۰/۹۵***	۴	۲۲۲۰۰/۹۵***	۴	۲۲۲۰۰/۹۵***	۴	مدل	
۶						۲														A	
۲۰۶/۸۳***	۱	۰/۰۱۵ ^{NS}	۱	۷۹/۸۸***	۱	۲۷۹/۵۲**	۱	۱/۶۸×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۵/۰۰×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۴۱۸۸/۰۳***	۱	۴۱۸۸/۰۳***	۱	۴۱۸۸/۰۳***	۱	۴۱۸۸/۰۳***	۱	A	
۶/۵*	۱	۶/۵۶×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	***۳۶۹/۶۸	۱	۱۶/۱۴ ^{NS}	۱	۱/۶۲×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۰/۰۱ ^{NS}	۱	۱۰۰۵۱/۶۸***	۱	۱۰۰۵۱/۶۸***	۱	۱۰۰۵۱/۶۸***	۱	۱۰۰۵۱/۶۸***	۱	B	
۱۱۵/۳۳**	۱	۲/۲×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۳۳/۳۱**	۱	۱۱۶/۸۸**	۱	۰/۰۱۷ ^{NS}	۱	۴/۵×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	—	۱	—	۱	—	۱	—	۱	C	
۱۱۰/۰۲**	۱	۰/۰۳۸**	۱	۱۹۲/۵۷***	۱	—	—	۰/۰۳۳ ^{NS}	۱	۳/۶×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۵۷۸۵/۱۲***	۱	۵۷۸۵/۱۲***	۱	۵۷۸۵/۱۲***	۱	۵۷۸۵/۱۲***	۱	AB	
—	—	۰/۰۳۱*	۱	—	—	۹۷۲/۵۲***	۱	۴/۵×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۱/۱۲×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	—	۱	—	۱	—	۱	—	۱	AC	
۱۱۲/۹۵***	۱	۰/۰۵۷***	۱	—	—	۱۲۸/۵۲**	۱	۳/۱۲×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۳/۶×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	—	۱	—	۱	—	۱	—	۱	BC	
۳۸۰/۷۷***	۱	۰/۰۳۱***	۱	—	—	۱۳۹/۱۹**	۱	۳/۱۰×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۰/۰۱۶ ^{NS}	۱	—	۱	—	۱	—	۱	—	۱	A ²	
—	—	۰/۴***	۱	۱۶۲/۸۳***	۱	—	—	۸/۹۵×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۳/۷۳×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۲۱۷۶/۱۲**	۱	۲۱۷۶/۱۲**	۱	۲۱۷۶/۱۲**	۱	۲۱۷۶/۱۲**	۱	B ²	
۷۹۲/۷۴***	۱	۰/۱۴***	۱	—	—	—	—	۳/۴۲×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	۱/۵۱×۱۰ ^{-۷^{NS}}	۱	—	۱	—	۱	—	۱	—	۱	C ²	
۱۴۹/۵۴	۱۱	۰/۰۳۷	۹	۳۸/۴۱	۱۳	۲۱۰/۱۶	۱۳	۰/۱۹ ^{NS}	۱۰	۰/۱۱	۱۰	۷۶۹/۰۳	۸	۷۶۹/۰۳	۸	۷۶۹/۰۳	۸	۷۶۹/۰۳	۸	باقی مانده	
۹۶/۱۹ ^{NS}	۶	۰/۰۱۹ ^{NS}	۴	۳۲/۶۶ ^{NS}	۸	۱۵۴/۸۱ ^{NS}	۸	۰/۱۹ ^{NS}	۵	۰/۰۳۷ ^{NS}	۵	۶۶۴/۸۸ ^{NS}	۴	۶۶۴/۸۸ ^{NS}	۴	۶۶۴/۸۸ ^{NS}	۴	۶۶۴/۸۸ ^{NS}	۴	عدم برازش	
۵۳/۳۵	۵	۰/۰۱۸	۵	۵/۷۴	۵	۵۵/۳۵	۵	۷/۴۸×۱۰ ^{-۷*}	۵	۰/۰۷۱	۵	۱۰۴/۱۵	۴	۱۰۴/۱۵	۴	۱۰۴/۱۵	۴	۱۰۴/۱۵	۴	خطای کل	
۳۱۴۵/۶۲	۱۸	۱/۱۴	۱۸	۷۷۳/۴۳	۱۸	۱۸۶۲/۹۲	۱۹	۰/۲۶	۱۹	۰/۱۵	۱۹	۲۲۹۵۹/۹۸	۱۲	۲۲۹۵۹/۹۸	۱۲	۲۲۹۵۹/۹۸	۱۲	۲۲۹۵۹/۹۸	۱۲	کل	

جدول ۴- ضرایب مدل‌های برازش یافته بر صفات مورد مطالعه

ضریب	پاسخ	درصد بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH	اسید آسکوربیک (mg/100g)	سفتی بافت (نیوتن)
β_0	+۱۶۸/۴۱	+۴۰/۳۸	-۰/۵۸	+۲۱۲/۳۱
β_1	-۰/۱۳۹**	-۰/۰۵**	+۷/۵۲×۱۰ ^{-۳} NS	-۰/۲۹**
β_2	-۲۴/۸۴ ^{NS}	-۷/۴۷**	+۳/۶۷ ^{NS}	-۱۳۳/۴۱ ^{NS}
β_3	-۰/۶۴*	-۰/۰۴۸*	+۰/۰۲۳ ^{NS}	-۱/۸۷*
β_{12}	-	+۰/۲۱۷**	-۳/۲۹×۱۰ ^{-۳} *	+۰/۱۶*
β_{13}	+۳/۶۸×۱۰ ^{-۳} **	-	-۲/۴۷×۱۰ ^{-۵} *	-
β_{23}	+۰/۵۳*	-	-۰/۰۱۳**	+۱/۷۹**
β_{11}	+۳/۶۷×۱۰ ^{-۴} *	-	-۱/۷۷×۱۰ ^{-۵} **	+۶/۱۷×۱۰ ^{-۴} **
β_{22}	-	-۶۴/۳۳**	-۳/۲۱**	-
β_{33}	-	-	-۱/۳۳×۱۰ ^{-۴} **	+۹/۸۹×۱۰ ^{-۳} **
R^2	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵
Lack of Fit	۰/۲۷۹	۰/۰۸۹	۰/۳۸۱	۰/۲۳۵

β_1 : اسانس زرین گیاه، β_2 : کیتوزان، β_3 : زمان غوطه‌وری

*, **, NS به ترتیب، نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵٪، ۹۹٪ و NS عدم معنی‌دار بودن است.

(بدون پوشش) در طی ۳۵ روز نگهداری در سطوح بالاتری حفظ گردید.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳، مدل به‌دست آمده از تغییرات ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار است ($P < 0.001$). مطابق نتایج، تأثیر متغیرهای مستقل بر حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی جوانه گندم منفی و معنی‌دار است (جدول ۴). درواقع افزایش غلظت اسانس زرین گیاه، غلظت کیتوزان و زمان غوطه‌وری تا محدوده ماکسیمم مورد بررسی در این پژوهش سبب کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول گردید. درحالی‌که، تأثیر متقابل اسانس و کیتوزان تا سطوح متوسط مصرف متغیرها (ppm ۱۵۰ اسانس و ۳۸٪ کیتوزان)، بر تغییرات ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول مثبت و افزایش‌دهنده ارزیابی شد ($P < 0.001$).

پوشش کیتوزان با کاهش میزان نفوذپذیری به گازهای تنفسی و کاهش تنفس و تعرق جوانه گندم، می‌تواند موجب حفظ محتوی پلی‌فنول‌ها، اسید آسکوربیک و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول گردد (Xing et al., 2011). مشخص شده است پوشش کیتوزان بر سطح گوجه فرنگی موجب القای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز شده است که این آنزیم‌ها نقش مهمی در پتانسیل آنتی‌اکسیدانی محصول بر عهده دارند (Liu et al., 2014). همبستگی مثبت میان فعالیت بازدارندگی رادیکال آزاد و ترکیبات فنولی در بسیاری از مطالعات قبلی گزارش

نتایج این پژوهش بیانگر اثر معنی‌دار پوشش نانوامولسیون حاوی کیتوزان و اسانس زرین گیاه بر محتوی فنول کل گندم جوانه‌زده می‌باشد. پوشش کیتوزان با کنترل تبادلات گازی از سطح محصول، باعث کاهش سرعت تنفس جوانه گندم، کاهش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز و کاهش واکنش‌های اکسیداسیونی فنول‌ها می‌شود (Mirdehghan et al., 2007). در تحقیقی در رابطه با بررسی اثر پوشش خوراکی کیتوزان بر توت فرنگی، نتایج نشان داده شد که محتوی فنول و درصد بازدارندگی رادیکال آزاد در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به گروه کنترل افزایش می‌یابد (Wang & Gao, 2013). همچنین، با افزایش همزمان غلظت اسانس و زمان غوطه‌وری محتوی فنول کل بیشتر می‌شود (شکل ۲ ب). استفاده از اسانس زرین گیاه در پوشش نانوامولسیون، به‌دلیل افزایش خاصیت هیدروفوبی پوشش، کاهش نفوذپذیری اکسیژن و بخار آب و کاهش تبادلات گازی، کاهش فعالیت آنزیم‌های اکسید کننده فنول‌ها نقش مهمی در حفظ محتوی فنول کل در سطوح بالاتری ایفا کرده است (Sanchez-Gonza et al., 2010). با اتکاء به این مطلب که اسانس زرین گیاه دارای مقادیر بالای ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا است (Kamali et al., 2016)، حضور آن در پوشش باعث شده تا محتوی فنول کل تیمارها در سطوح بالاتری حفظ گردد. در پژوهشی که توسط Khalifa و همکاران (۲۰۱۷) انجام گرفت، نتایج نشان داد که محتوی فنول کل در سیب پوشش داده شده با کیتوزان و عصاره برگ زیتون و یا عصاره تفاله زیتون نسبت به گروه کنترل

آلبالو طی ۲۰ روز انبارداری نشان‌دهنده تأثیر فیلم خوراکی به کار رفته بر روند کاهش اسید آسکوربیک در طی دوره انبارداری بود (Zam, 2019). با توجه به اینکه کیتوزان تأثیر شگرفی بر کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز دارد (Ayranci & Tunc., 2004)، احتمالاً مدت زمان‌های طولانی‌تر غوطه‌وری می‌تواند در حفظ محتوی اسید آسکوربیک گندم جوانه‌زده مؤثرتر باشد.

سفتی بافت

نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد که مدل درجه دوم به دست آمده از تغییرات سفتی بافت معنی‌دار است ($P < 0.001$). معنی‌دار بودن اثرات متقابل برخی از متغیرهای مورد بررسی نشان‌دهنده تأثیر توأم متغیرها بر میزان سفتی بافت می‌باشد ($P < 0.001$). منابع تغییرات مدل نشان می‌دهد، استفاده از اسانس در سطوح بالا و افزایش زمان غوطه‌وری موجب افزایش سفتی بافت جوانه گندم می‌شود (جدول ۴). اثرات متقابل غلظت کیتوزان با غلظت اسانس و زمان غوطه‌وری در مقادیر بالا نیز در حفظ بهتر سفتی بافت گندم جوانه‌زده مثبت و معنی‌دار ارزیابی شد (شکل ۲ ه ی).

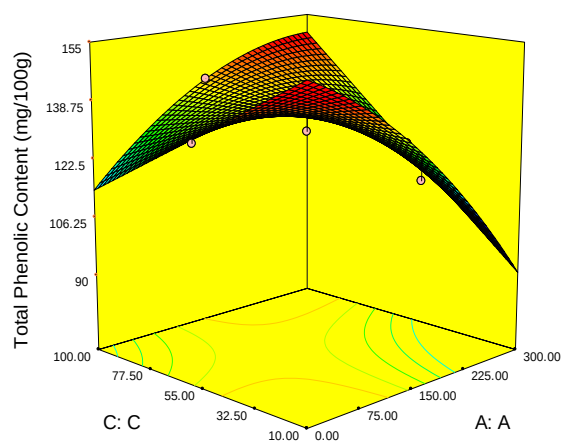
یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت میوه‌ها و سبزیجات، بافت آنها می‌باشد. سفتی بافت می‌تواند در ارتباط با ساختار دیواره سلولی و ترکیبات بین دیواره سلول‌ها و همچنین تبدیل قندهای نامحلول (نشاسته) به قندهای محلول (گلوکز و فروکتوز) باشد. تغییر در ساختار دیواره سلولی از جمله کاهش همی‌سلولز و گالاکتوز، کاهش درجه استری پکتین و فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده سبب نرم شدن بافت می‌شود (Hong et al., 2012). پوشش کیتوزان با حفظ میزان اکسیژن در سطح پایین و دی‌اکسید کربن در سطوح بالاتر، کاهش شدت تنفس، کاهش تعرق و کاهش فعالیت‌های آنزیم‌های تجزیه‌کننده مواد پکتینی دیواره سلولی از جمله پکتین استراز و پلی‌گالاکتوروناز و به تأخیر انداختن فرایند پیری تأثیر به سزایی در حفظ سفتی بافت دارد (Ali et al., 2011). جلوگیری از کاهش سفتی میوه انگور با استفاده از پوشش کیتوزان گزارش شده است (Al-Qurashi & Awad, 2015). تأثیر اسانس زربین گیاه بر حفظ سفتی بافت نیز می‌تواند به دلیل نقش مؤثر اسانس در کاهش تنفس و تعرق، جلوگیری از افزایش pH در اثر فعالیت‌های آنزیمی و واکنش‌های اکسیداسیون و به تأخیر انداختن فرایند پیری سلول و چروکیدگی می‌باشد (Chiumarelli et al., 2011). افزایش زمان غوطه‌وری در محلول پوششی در محدوده مورد ارزیابی در این پژوهش، تأثیر ترکیبات تشکیل‌دهنده نانوامولسیون بر حفظ سفتی بافت محصول را بهبود می‌دهد.

شده است. بنابراین، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش درصد اسانس زربین گیاه می‌تواند بدلیل حفظ بهتر ترکیبات فنولی محصول باشد (Bagheri et al., 2015).

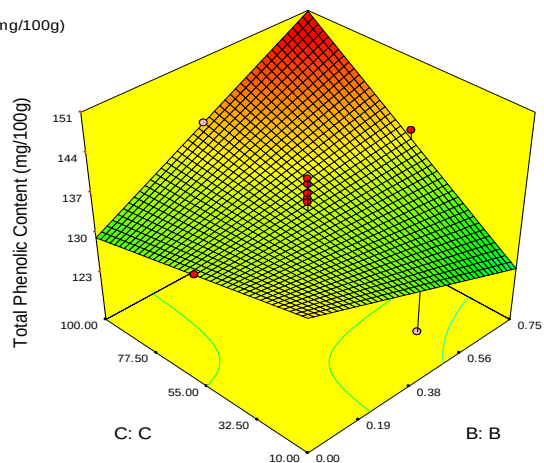
اسید آسکوربیک

نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد که مدل خطی به دست آمده از تغییرات اسید آسکوربیک در تیمارهای مختلف معنی‌دار ارزیابی شد ($P < 0.001$). اثرات متقابل متغیرهای مورد بررسی در سطح احتمال ۹۹/۹ درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تأثیر توأم متغیرهای مستقل بر تغییرات اسید آسکوربیک می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت اسانس زربین گیاه، غلظت کیتوزان و زمان غوطه‌وری، میزان اسید آسکوربیک جوانه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. مثبت بودن ضریب رگرسیون خطی اسانس، کیتوزان و زمان غوطه‌وری مؤید این موضوع می‌باشد. اثر متقابل متغیرها در محدوده نسبتاً وسیعی از تغییرات هر دو متغیر نیز منجر به حفظ سطوح بالاتری از اسید آسکوربیک گندم جوانه‌زده شده است.

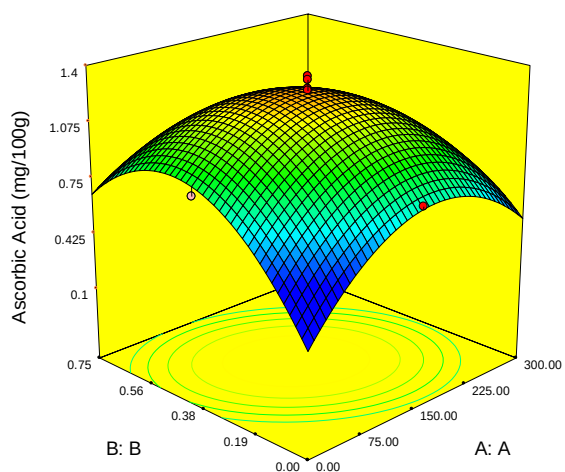
یکی از معیارهای سنجش کیفیت میوه‌ها و سبزیجات میزان اسید آسکوربیک آنها می‌باشد، که بسیار حساس به تجزیه شدن به علت اکسید شدن در طی فرآوری و نگهداری می‌باشد. فرایند اکسیداتیو اسید آسکوربیک در حضور عواملی مانند نور، اکسیژن، حرارت و آنزیم‌های اکسیدکننده فنول اکسیداز و آسکوربیک اکسیداز شدت می‌یابد. استفاده از پوشش‌های خوراکی به دلیل کاهش میزان نفوذ پذیری به گازهای تنفسی مؤثرترین راهکار در جهت حفظ اسید آسکوربیک می‌باشد (Veltman et al., 2000). به نظر می‌رسد که پوشش کیتوزان با کاهش اکسیژن درونی جوانه گندم منجر به افزایش فعالیت سیتوکروم اکسیداز می‌شود و این آنزیم می‌تواند سرعت تجزیه اسید آسکوربیک را تا حد زیادی کاهش دهد (Pek & Helyes, 2010). به علاوه، پوشش نانوامولسیونی کیتوزان با کاهش تبادلات گازی، کاهش سرعت تنفس و کاهش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز باعث حفظ اسید آسکوربیک می‌گردد (Ayranci & Tunc., 2004). با افزایش غلظت اسانس زربین گیاه، محتوی ترکیبات فنولی و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی ناشی از آن بیشتر می‌گردد و موجبات محافظت محتوی اسید آسکوربیک محصول را فراهم می‌کند (Shao et al., 2015). در محدوده مورد ارزیابی در این پژوهش، افزایش زمان غوطه‌وری در محلول پوششی، تأثیر ترکیبات تشکیل‌دهنده نانوامولسیون بر حفظ اسید آسکوربیک موجود در محصول را افزایش می‌دهد. نتایج بررسی اثر فیلم خوراکی ترکیبی حاوی کیتوزان - آلژینات و عصاره برگ زیتون بر کیفیت ماندگاری



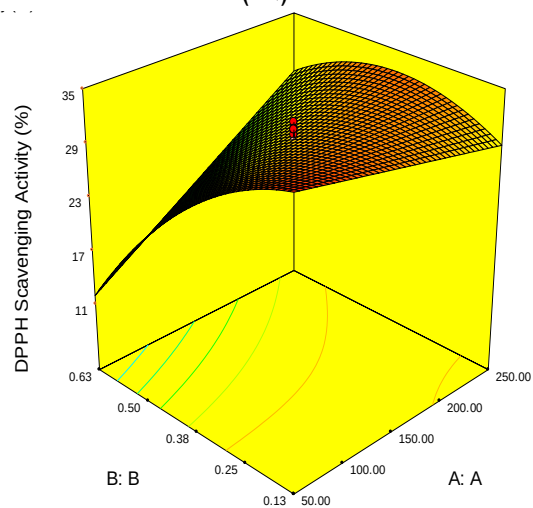
(ب)



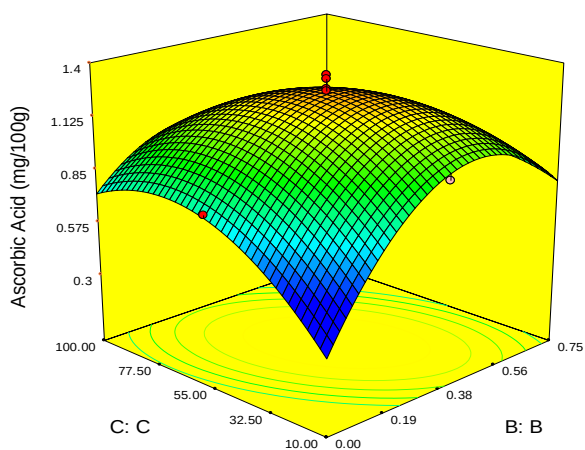
(الف)



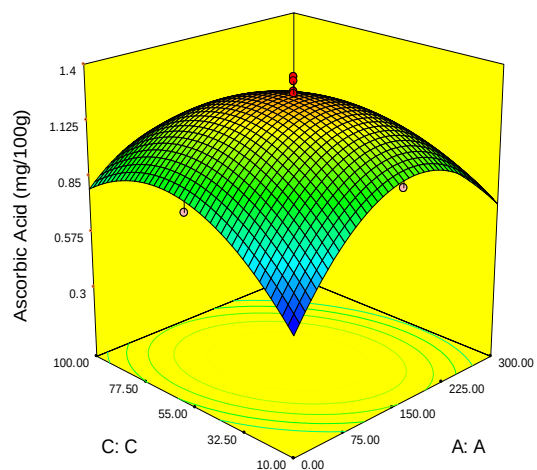
(د)



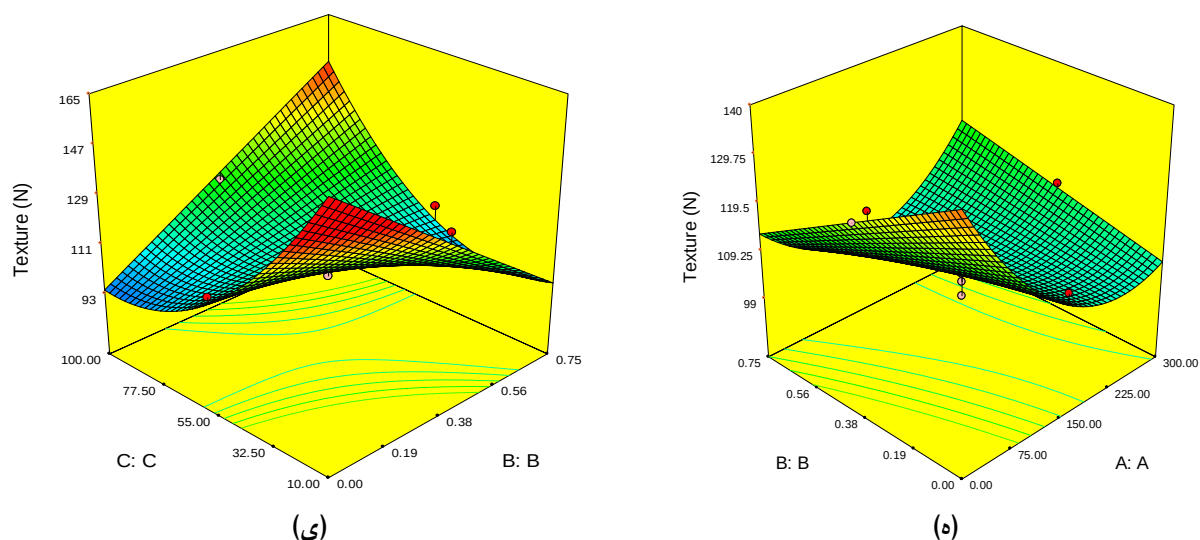
(ج)



(و)



(ز)



شکل ۲- اثر متقابل متغیرهای مستقل بر تغییرات ویژگی‌های کیفی گندم جوانه زده

غوطه‌وری تولید گردید. درصد خطای ارزیابی هر یک از متغیرها محاسبه گردید. نتایج ویژگی‌های کیفی نمونه تهیه شده و پیش‌بینی شده توسط مدل و درصد خطای برآورد هر ویژگی در جدول ۵ آورده شده است که بیانگر صحت عملکرد مدل‌های حاصل است.

بهینه‌سازی فرمول و اعتبارسنجی

بهینه‌سازی براساس مهم‌ترین پارامترهای کیفی جوانه گندم (pH، افت وزن، فنول کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسید آسکوربیک و سفتی بافت) صورت گرفت. به منظور اعتبارسنجی مدل‌های حاصل، نمونه بهینه حاوی ۸۴/۱۸ ppm اسانس زربین گیاه، ۰/۲۵٪ کیتوزان و ۲۵s

جدول ۵- بررسی صحت پیش‌بینی مدل‌های حاصل شده با استفاده از روش سطح پاسخ در پیش‌بینی فاکتورهای کیفی گندم جوانه زده

آزمون	مقدار پیش‌بینی شده	مقدار تجربی	درصد خطا
pH	۴/۹۶	۴/۷۶	۴/۳۸
افت وزن	۱/۱۴۳	۱/۰۷	۶/۸۶
فنول کل	۱۴۲/۶۸	۱۴۲/۱۱	۰/۴
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	۳۳/۲۳	۳۳/۴۵	۰/۶۷
اسید آسکوربیک	۰/۹۲۶	۱/۱۹	۲۲/۱۳
سفتی بافت	۱۳۲/۷۳	۱۱۵/۷۳	۱۴/۶۹

گندم جوانه زده نسبت داد (Mali & Grossman., 2003). به طور کلی pH نمونه بهینه کمتر از نمونه شاهد ارزیابی گردید. هرچند، در روزهای چهارم و هشتم نگهداری تفاوت میان نمونه بهینه و نمونه شاهد از این نظر معنی‌دار نمی‌باشد ($P>0.05$). پوشش‌ها با تغییر میزان اکسیژن و دی‌اکسید کربن در اطراف میوه، تغییرات pH را کند و به طور مؤثری رسیدن و زوال آنها را به تعویق می‌اندازند. طبق شکل ۳ (ب)، افت وزن محصول در طی دوره نگهداری افزایش می‌یابد. تفاوت معنی‌داری میان نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد از این نظر وجود دارد ($P<0.01$) و افت وزن در نمونه بهینه در مقایسه با نمونه شاهد کمتر است. پوشش کیتوزان به عنوان یک پوشش خوراکی مانع از دست رفتن رطوبت شده و بر تبادلات گازی نمونه اثرگذار است.

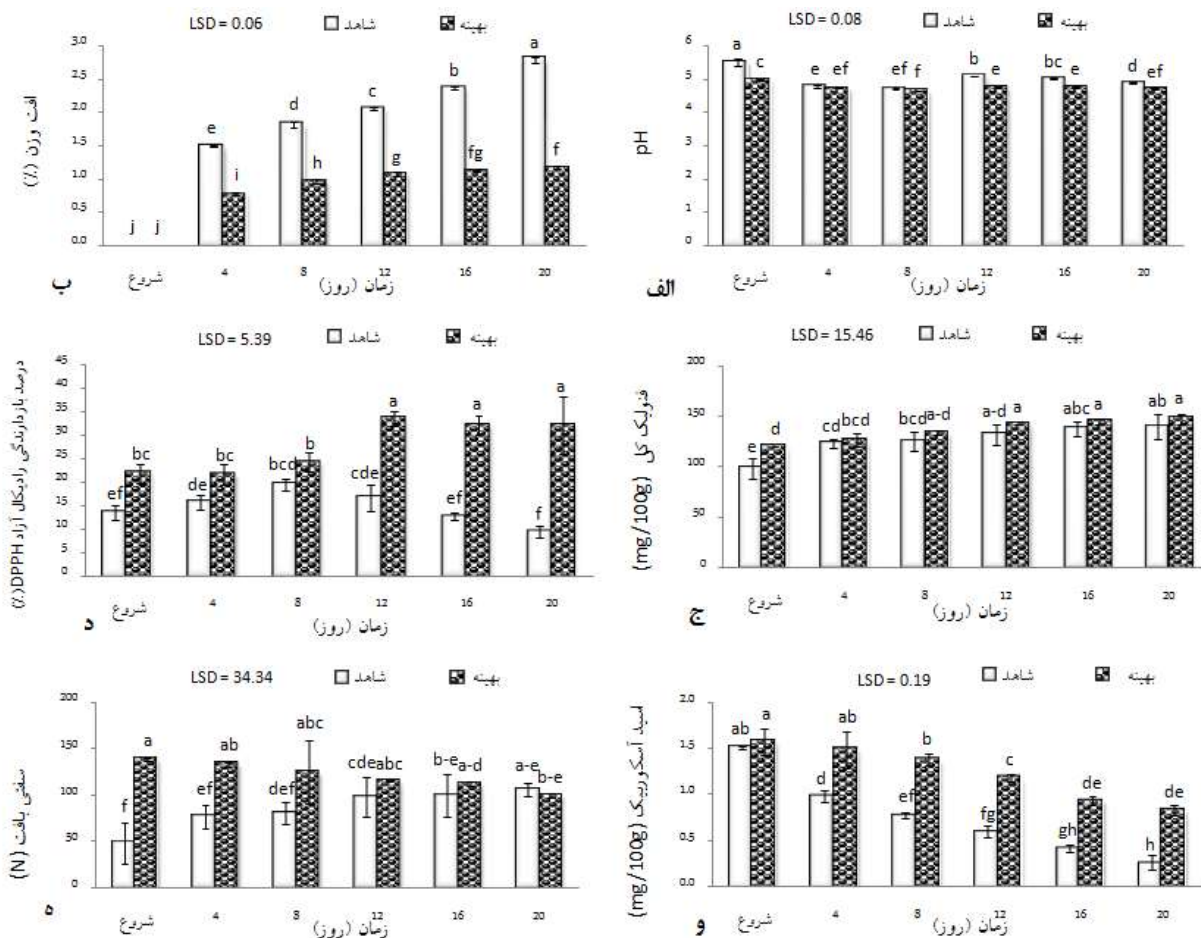
مقایسه ویژگی‌های کیفی نمونه بهینه و نمونه شاهد در

طول دوره نگهداری

مطابق شکل ۳ (الف)، در طی دوره نگهداری نمونه‌های بهینه و شاهد تفاوت معنی‌داری را از نظر تغییرات pH نشان داده‌اند ($P<0.05$). در روز آغازین آزمایش، pH نمونه بهینه به دلیل اسیدی بودن محلول کیتوزان به کار رفته در پوشش نانوامولسیونی نسبت به نمونه شاهد کمتر می‌باشد. تغییرات pH با گذشت زمان از روز صفر (آغازین آزمایش) تا روز هشتم نگهداری کاهشی، و پس از آن روندی افزایشی را سپری می‌کند. این تغییرات به تولید و مصرف اسیدهای آلی به واسطه فعالیت میکروارگانیسم‌ها و واکنش‌های آنزیمی تنفس، تغییر نسبت محتوی قند به اسیدها و همچنین تغییر مواد جامد کل

آغازین آزمایش تا روز دوازدهم نگهداری روندی افزایشی ($P < 0.05$)، و در طی روزهای دوازدهم، شانزدهم و بیستم نگهداری تغییر معنی‌داری را نشان نمی‌دهد (شکل ۳ ج)).

محتوی ترکیبات فنولیک کل در نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد طی دوره نگهداری (۲۰ روز) تغییر چندانی نمی‌کند ($P < 0.05$)، و تنها در روز آغازین آزمایش، نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد از محتوی فنول کل بالاتری برخوردار می‌باشد. محتوی فنول کل از روز



شکل ۳- مقایسه ویژگی‌های کیفی نمونه‌های بهینه و شاهد طی دوره نگهداری
ستون‌های دارای حروف متفاوت از لحاظ آماری دارای میانگین متفاوت هستند ($P < 0.05$)

طول دوره نگهداری بالاتر ارزیابی گردید ($P < 0.05$). تنها در روز هشتم نگهداری، نمونه بهینه و نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نشان نمی‌دهند ($P > 0.05$). سرعت کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه شاهد از روز شانزدهم به بعد بیشتر از نمونه بهینه است (شکل ۳ د). Gholammipour Fard و همکاران (۲۰۱۰) طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که کیتوزان اثر مفیدی بر حفظ محتوی ترکیبات فنولی، اسید آسکوربیک، کلروفیل، کاهش وزن و حفظ شکل ظاهری فلفل دلمه‌ای دارد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه بهینه از روز آغازین آزمایش تا روز دوازدهم نگهداری روند افزایشی را نشان می‌دهد ($P < 0.05$). تحریک اسانس‌های گیاهی از طریق جذب رادیکال‌های اکسیژن و هیدروکسیل طی زمان انبارداری، حفظ بهتر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فنولیک را موجب می‌گردد (Atress et al., 2010). از جهتی تضعیف قدرت اتصالات ترکیبات فنولیک با دیواره‌های سلولی و ترکیبات باند کننده، افزایش فعالیت و امکان واکنش و به تبع آن افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی محصول را به همراه دارد (Aydin & Gocmen., 2014). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد در

نتایج شکل ۳ (و) نشان می‌دهد که، محتوی اسید آسکوربیک نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد بالاتر است. تغییرات میزان اسید آسکوربیک نمونه بهینه در طی دوره نگهداری روند کاهشی را نشان می‌دهد ($P < 0.05$). Yonemoto و همکاران (۲۰۰۲) طی گزارشی بیان کردند که سطوح بالاتر اسید آسکوربیک در میوه‌های پوشش داده شده با کیتوزان به دلیل کاهش دسترسی به اکسیژن و مهار تنفس است. در طول دوره نگهداری، سفتی بافت نمونه بهینه و شاهد تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهند، و سفتی بافت در نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد بالاتر است ($P < 0.05$). تغییرات سفتی بافت نمونه بهینه با گذشت زمان چندان محسوس نیست.

طبق نتایج جدول ۶، اثر تیمار (پوشش نانومولسیونی) بر خصوصیات حسی گندم جوانه‌زده نظیر طعم و مزه، عطر و بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی معنی‌دار نیست. این نتیجه به این معنی است که پوشش نانومولسیونی حاوی اسانس زربین گیاه و کیتوزان به‌خوبی توانسته است ویژگی‌های حسی گندم جوانه‌زده را حفظ نماید و از به‌وجود آمدن اثرات نامطلوب حسی و بدطعمی در آن ممانعت به عمل

آورد. علاوه بر این، پوشش به‌کار رفته هیچ‌گونه اثر نامطلوبی بر خواص حسی گندم جوانه‌زده ندارد و عطر و طعم اضافی در محصول به‌وجود نمی‌آورد. کیفیت ظاهری میوه‌ها و سبزیجات تازه (عطر، طعم و رنگ) طی نگهداری در انبار بدلیل افزایش تنفس و فعالیت آنزیمی محصول کاهش می‌یابد. در نمونه‌های پوشش داده شده، بدلیل کاهش تنفس و حفظ بیشتر ترکیبات عامل عطر و طعم، پذیرش کلی تیمارها طی نگهداری (۴ روز) نسبت به نمونه شاهد تغییر محسوسی نکرده است. به‌طور کلی از آنجا که پوشش‌دهی در حفظ بافت، رنگ و ترکیبات شیمیایی میوه‌ها و سبزیجات مؤثر شناخته شده است، بدیهی است که استفاده از آن محصول را بعد از گذشت یک دوره انبارمانی، همچنان با خصوصیات نزدیک به خصوصیات محصول تازه، نسبت به گروه شاهد ارجح می‌دارد (عشقی و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیق انجام شده توسط Guerra و همکاران (۲۰۱۵) نشان داده شده است که ترکیب کیتوزان و اسانس نعنا فلفلی در پوشش گوجه گیلانی هیچ تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های مختلف حسی نمونه‌ها پس از ۲۴ روز انبارداری ایجاد نکرده است.

جدول ۶- اثر تیمار گندم جوانه زده با پوشش نانومولسیونی اسانس زربین گیاه در محلول کیتوزان بر خصوصیات حسی محصول

تیمار	طعم و مزه	عطر و بو	رنگ	بافت	پذیرش کلی
شاهد	$4/35 \pm 1/04^a$	$4/05 \pm 1/32^a$	$4/15 \pm 1/23^a$	$4/20 \pm 1/24^a$	$4/45 \pm 1/10^a$
بهینه	$3/95 \pm 1/23^a$	$3/90 \pm 1/07^a$	$4/45 \pm 1/00^a$	$4/45 \pm 1/23^a$	$4/30 \pm 0/80^a$

در هرستون، میانگین‌ها با حروف یکسان بر اساس آزمون من ویت نی (Mann-Whitney U) تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

بذرهای جوانه‌زده به‌دلیل فساد سریع توسط میکروارگانیسم‌ها و تغییرات بیوشیمیایی از جمله تنفس، فعالیت‌های آنزیمی و نرم‌شدگی ماندگاری مناسبی ندارند. هدف این مطالعه افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت گندم جوانه‌زده با استفاده از پوشش نانومولسیونی کیتوزان-اسانس زربین گیاه بود. نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر نشان داد که افزایش همزمان سطح کیتوزان و زمان غوطه‌وری موجب حفظ بهتر ترکیبات فنولیک کل تیمارها گردید. اثر متقابل اسانس و کیتوزان بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تیمارها نشان داد که افزایش اسانس و کیتوزان تا سطوح متوسط (۱۵۰ ppm اسانس و ۰/۳۸٪ کیتوزان)، موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد. اثرات متقابل متغیرهای مورد بررسی تا سطوح متوسط (۱۵۰ ppm اسانس و ۰/۳۸٪ کیتوزان) هر دو متغیر منجر به حفظ سطوح بالاتری از اسید آسکوربیک گندم

جوانه‌زده گردید، اما در مقادیر بالاتر آنها روند کاهشی مشاهده شد. اثر متقابل اسانس و کیتوزان و همچنین اثر متقابل کیتوزان و زمان غوطه‌وری در مقادیر بالا موجب حفظ بهتر بافت گندم جوانه‌زده می‌شود. استفاده از پوشش حاوی ۰/۲۵٪ کیتوزان به‌همراه ۸۴/۱۸ ppm اسانس زربین گیاه و زمان غوطه‌وری ۲۵s با حفظ کیفیت گندم جوانه‌زده در تمامی صفات بررسی شده به‌عنوان بهترین سطوح متغیرهای مستقل در این پژوهش شناخته شد. پوشش‌دهی گندم جوانه‌زده باعث کاهش روند تغییرات pH، افت وزن، میزان فنول کل، اسید آسکوربیک، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و سفتی بافت در نمونه‌های پوشش داده شده در طی نگهداری در مقایسه با نمونه شاهد گردید. ضمن اینکه خصوصیات حسی آن پس از گذشت زمان نگهداری تغییر چشمگیری نداشت.

منابع

شیروانی، ع.، شاهدی، م. و گلی، س. الف، ۱۳۹۶، اثر جوانه‌زنی بر میزان ترکیبات شیمیایی، خواص تغذیه‌ای و فعالیت ضداکسندگی بذر ماش، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۱۶، ۱۴۵-۱۳۵.

- صحرائی خوش‌گردش، ع.، بدیعی، ف. و یاسینی اردکانی، س.، ف.، ۱۳۹۳، تأثیر پوشش نانوامولسیون حاوی کیتوزان بر افزایش ماندگاری سیب گلاب رقم گلاب کهز در مدت انبارداری، مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۵، ۱۳۳-۱۲۰.
- عشقی، س.، هاشمی، م.، محمدی، ع.الف.، بدیعی، ف.، محمد حسینی، ز.، احمدی صومعه، ک. و قناتی، ک.، د.، ۱۳۹۲، تأثیر پوشش نانوامولسیون حاوی کیتوزان بر افزایش ماندگاری و ویژگیهای کیفی میوه توت‌فرنگی پس از برداشت، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۲، ۱۹-۹.
- کمالی، م.، خسرویاری، س. و جلیلود، م.، ۱۳۹۳، بررسی ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی، آنتوسیانینی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های مختلف اندام هوایی گیاه دارویی *Dracocephalum kotschy*، مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ۶، ۶۳۴-۶۲۷.
- محسن نسب، ف.، شرفی زاده، م. و سیادت، ع.، ۱۳۸۹، بررسی اثر فرسودگی بذر (پیری تسریع شده) بر جوانه زنی و رشد گیاهچه ارقام گندم در شرایط آزمایشگاه، فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۲، ۳.
- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۷، میکروبیولوژی پودر جوانه گندم ویژگی‌ها، استاندارد ملی ایران، شماره ۵۸۳۳.
- هاشمی گهریویی، ه.، غیائی، ف.، اسکندری، م. ه. و مجذوبی، م.، ۱۳۹۵، بررسی تأثیر فرآیند حرارتی خشک بر ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکی شیمیایی جوانه گندم به‌عنوان یک مکمل غذایی فراسودمند، نشریه پژوهشهای صنایع غذایی، ۲۶، ۴۷-۳۷.
- Al-Qurashi, A.D. & Awad, M.A., 2015, Postharvest chitosan treatment affects quality, antioxidant capacity, antioxidant compounds and enzymes activities of 'El-Bayadi' table grapes after storage, *Scientia Horticulturae*, 197, 392-398.
- Ali, A., Mahmud, T.M.M., Kamaruzaman, S. & Yasmeen, S., 2011, Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage, *Food Chemistry*, 124, 620-626.
- Anuchapreeda, S., Fukumori, Y., Okonogi, S. & Ichikawa, H., 2012, Preparation of lipid nanoemulsions incorporating curcumin for cancer therapy, *Journal of Nanotechnology*, 1-11.
- AOAC, 2002, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th Edn., AOAC International, Maryland.
- Athmaselvi, K.A., Sumitha, P. & Revathy, B., 2013, Development of Alovera based edible coating for tomato, *International Agrophysics*, 27, 369-375.
- Atress, Amal S.H., El-Mogy, M.M., Aboul-Anean, H.E. & Alsanius, B.W., 2010, Improving strawberry Fruit Storability by Edible Coating as a Carrier of Thymol or Calcium Chloride, *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2, 88-97.
- Aydin, E., Gocmen, D., 2014, the influences of drying method and metabisulfite pre-treatment on the color, functional properties and phenolic acid content and bioaccessibility of pumpkin flour, *Lwt- Food science and technology xxx*, 1-8.
- Ayranci, E. & Tunc, S., 2004, The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* Lam.) and green peppers (*Capsicum annum* L.), *Food chemistry*, 87, 339-342.
- Bagheri, M., Esna-Ashari, M. & Ershadi, A., 2015, Effect of postharvest calcium chloride treatment on the storage life and quality of persimmon fruits (*Diospyros kaki* Thunb.) cv. 'Karaj', *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2, 15-26.
- Bressy, F.C., Brito, G.B., Barbosa, I.S., Teixeira, L.S.G. & Korn, M.G.A., 2013, Determination of trace element concentrations in tomato samples at different stages of maturation by ICP OES and ICP-MS following microwave-assisted digestion, *Microchemical Journal*, 109, 145-149.
- Chaudhery, Y.Q., Castle, L. & Watkins, R., 2010, Nanotechnologies in food, Royal Society of Chemistry (RSC) Publishing, UK, 36-51.
- Chiumarelli, M., Ferrari, C.C., Sarantópoulos, C.I. & Hubinger, M.D., 2011, Fresh cut 'Tommy Atkins' mangopretreated with citric acid and coated with cassava (*Manihotesculenta* Crantz) starch or sodium alginate, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12, 381-387.
- Corbo, M.R., Speranza, B., Campaniello, D., D'Amato, D. & Sinigaglia, M., 2010, Fresh-cut fruits preservation: current status and emerging technologies, *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 2, 1143-1154.
- D'ambrosio, T., Amodio, M.L., Pastor, D., De Santis, G., Golelli, G., 2017, Chemical, Physical and sensorial characterization of fresh quinoa sprouts (*Chenopodium quinoa* willd.) and effects of modified atmosphere packaging on quality during cold storage, *Food Packaging and Shelf life*, 14, 52-58.
- Duenas, M., Hernandez, T., Estrella, I. & Fernandez, D., 2009, Germination as a process to increase the polyphenol content and antioxidant activity of lupin seeds, *Food chemistry*, 117, 599-607.
- Dutta, P.K., Tripathi, S., Mehrotra, G.K. & Dutta, J., 2009, Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications, *Food Chemistry*, 114, 1173-1182.
- Gholammipour Fard, K., Kamari, S., Ghasemnezhad M. & Ghazvini, R.F., 2010, Effect of chitosan coating on weight loss and postharvest quality of green pepper, *Acta Horticulturae*, 877, 821-826.
- Guerra, I.C.D., de Oliveira, P.D.L., de Souza Pontes, A.L., Lúcio, A.S.S.C., Tavares, J.F., Barbosa-Filho, J.M., Madruga, M.S. & de Souza, E.L., 2015, Coatings comprising chitosan and *Menthapiperita* L. or *Mentha villosa* Huds essential oils to prevent common postharvest mold infections and maintain the quality of cherrytomato fruit, *International Journal of Food Microbiology*, 214, 168-178.

- Hong, K., Xie, J., Zhang, L., Sun, D. & Gong, D., 2012, Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidiumguajava*L.) fruit during cold storage, *Scientia Horticulturae*, 144, 172-178.
- Hruskova, M., Hanzlikova K. & Varacek, R., 2000, Wheat and flour quality relations in a commercial mill, *Czech Journal of Food Sciences*, 19, 189-195.
- Jahaniani, F., Ebrahimi, S.A., Rahbar-Roshandel, N. & Mahmoudian, M., 2005, Xanthomicrol is the main cytotoxic component of *Dracocephalumkotschyii* and a potential anti-cancer agent, *Phytochemistry*, 66, 1581-1592.
- Jiang, Y., & Li, Y., 2001, Effects of chitosan on postharvest life and quality of longan fruit, *Food Chemistry*, 73, 139-143.
- Kamali, M., Khosroyar, S., Kamali, H., Ahmadzadeh Sani, T. & Mohammadi A., 2016, Phytochemical screening and evaluation of antioxidant activities of *Dracocephalumkotschyii* and determination of its luteolin content, *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 6,425-433.
- Khalifa, I., Barakat, H., El-Mansy, H.A. & Soliman, S.A., 2017, Preserving apple (*Malusdomestica* var. Anna) fruit bioactive substances using olive wastes extract-chitosan film coating, *Information Processing In Agriculture*, 4, 90-99.
- Lee, J.Y., Parka, H.J., Lee, C.Y. & Choia, W.Y., 2003, Extending shelf-life of minimallyprocessed apples with edible coatings and antibrowning agents, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 36, 323-329.
- Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H. & Liu, J., 2014, Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums, *Scientia Horticulture*, 176, 45- 53.
- Liu, J., Zhang, J. & Xia, W., 2008, Hypocholesterolaemic effects of different chitosan samples in vitro and in vivo, *Food Chemistry*, 107, 419-25.
- Mali, S. & Grossmann, MVE., 2003, Effects of yam starch onstorability and quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 21,7005-7011.
- Martuccia, J.F., Gende, L.B., Neira, L.M. & Ruseckaite, R.A., 2015, Oregano and lavender essential oils as antioxidant and antimicrobial additives of biogenic gelatin films, *Industrial Crops and Products*, 71, 205-213.
- Mirdehghan, S.H., Rahemi, M., Serrano, M., Guillen, F., Martínez-Romero, D & Valero, D., 2007, The application of polyamines by pressure or immersion as a tool to maintain functional properties in stored pomegranate arils, *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 55, 755-760.
- Mirhosseini, H., Tan, C.P., Hamid, N.S.A. & Yusof, S., 2008, Optimization the contents of Arabic gum, xanthan gum and orange oil affecting turbidity, average particle size, polydispersity index and density in orange beverage emulsion, *Food Hydrocolloids*, 22, 1212-1223.
- Mimica-Dukic, N., Orcic, D., Lesjak, M. and Sibul, F., 2016, Essential Oils as Powerful Antioxidants: Misconception or Scientific Fact? Jeliazkov (Zheljatzkov) and Cantrell; Medicinal and Aromatic Crops: Production, Phytochemistry, and Utilization ACS Symposium Series, *American Chemical Society*, Washington, DC.
- Moreau, R. & Kamal-Eldin, A., 2009, Gourmet and health-promoting specialty oils, Academic Press and AOCS Press, United States, 596 p.
- Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H. & Hosseini, S.M.H., 2010, Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout, *Food Chemistry*, 120, 193-198.
- Pek, Z. & Helyes, L., 2010, Color changes and antioxidant content of vine and postharvest ripened tomato fruits, *Hortscience*, 45, 466-468.
- Sanchez-Gonza, L., Gonzalez-Martinez, C., Chiralt, A. & Chafer, M., 2010, Physical and antimicrobial properties of chitosan-tea tree essential oil composite films, *Journal of Food Engineering*, 98,443-452.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M. & Valero, D., 2011, Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates, *Food Chemistry*, 124, 964-970.
- Shao, X., Cao, B., Xu, F., Xie, S., Yu, D. & Wang, H., 2015, Effect of postharvest application of chitosan combined with clove oil against citrus green mold, *Postharvest Biology and Technology*, 99, 37-43.
- Tang, S.Y., Manickam, S., Wei, T.K. & Nashiru, B., 2012, Formulation development and optimization of a novel Cremophore EL-based nanoemulsion using ultrasound cavitation, *Ultrasonics Sonochemistry*, 19, 330-345.
- Veltman, R.H., Kho, R.M., Van Schaik, A.C.R., Sanders, M.G. & Oosterhaven, J., 2000, Ascorbic acid tissue browning in pears (*Pyruscommunis* L. cvs Rocha and Conference) under controlled atmosphere conditions, *Postharvest Biology and Technology*, 19, 129-137.
- Wang, S.Y. & Gao, H., 2013, Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x aranassa*Duch.), *LWT - Food Science and Technology*, 52, 71-79
- Xiao, Y., Di, P., Chen, J., Liu, Y., Chen, W. & Zhang, L., 2009, Characterization and expression profiling of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase gene (*Smhppd*) from *Salvia miltiorrhiza* hairy root cultures, *Molecular Biology Reports*, 36, 2019-2029.
- Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y. & Tang, Y., 2011, Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), *Food Chemistry*, 124, 1443-1450.
- Yonemoto, Y., Higuchi, H. & Kitano, Y., 2002, Effects of storage tempera ture and wax coating on ethyleneproduction, respiration and shelf-life in cherimoya fruit, *The Japanese Society for Horticultural Science*, 71,643-650.

- Zam, W., 2019., Effect of alginate and chitosan edible coating enriched with olive leaves extract on the shelf life of sweet cherries (*Prunus avium* L.), *Journal of Food Quality*, 2019,1-7.
- Zhang, SJ., Hu, TT., Liu, HK., Chen, YY., Pang, X., Zheng, L., Chang, S., KANG, Y., 2018, Moderate vacuum packing and low temperature effects on qualities of harvested mung bean (*Vigna radiata* L.) sprouts, *Postharvest Biology and Technology*, 145,83-92.
- Zhou, F., Li, G. and Huang, J., 2019, Effect of Chitosan/BSA Addition on the Physical Stability of Sunflower Oil Emulsions, *Journal of Food Quality*, 1-8.



Effect of nano-emulsion coating of *Dracocephalum Kotschy* essential oil in chitosan on quality of sprouted wheat using response surface methodology (rsm)

N. Najafi¹, H. Abbasi^{2*}

Received: 2020.01.09

Accepted: 2020.11.11

Introduction highly sensitive to fungal and biochemical changes such as respiration and enzymatic activity, as a result, it has a short shelf life: wheat is an important cereal crop used as staple food in many parts of the world and provides 20% of the energy and 78-93% of the protein in the human diet. Seed germination is a process which begins with activating proteinase due to uptake of water. Metabolic activity occurs during the germination process, leading to the hydrolysis of proteins and carbohydrates, and the synthesis of metabolites that have health-promoting properties for human. Sprouted wheat is a rich source of protein, dietary fiber, minerals, vitamins and phytosterols. Using chemical preservatives to extend the shelf life of food has a great health concern for many years. Therefore, developing safe methods to control perishability and maintain quality of perishable foods during storage is crucial. Chitosan is a linear polysaccharide composed of randomly distributed β -(1-4)-D-glucosamine and N-acetyl-D-glucosamine. Chitosan coating is beneficial to maintaining the storage quality and prolonging the shelf life of postharvest fruits and vegetables. *Dracocephalum kotschy* is one of the medicinal herbs with special constituents including caryophyllene, limonene, α -pinene, geranial, and flavonoids. The essential oil of this plant has significant biological activities, including antiviral, antibacterial and anti-corruption. Considering the successful application of chitosan and essential oils in edible coating formulae and its proven antifungal properties due to its nano-particles prompted us to initiate this study aiming at assessing the efficiency of an edible coating for maintaining quality and increasing the shelf life of wheat sprout. Therefore, in the present study, nano-emulsion of *Dracocephalum Kotschy* essential oil in chitosan was considered for coating sprouted wheat in order to delay its perishability.

Materials and Methods: Materials used in this study consisted of wheat (Pakanbazar Co.), chitosan (Shayan Chemical Co.) and *Dracocephalum kotschy* were supplied from Isfahan's medicinal plants market. All chemicals were from Merck Co. In order to prepare wheat germ, wheat grains were immersed in water containing 0.07 % sodium hypochlorite for 10 min. Then, the disinfected samples were soaked in water at 25 °C for 12 h. After soaking, the samples were placed in a germination chamber at 30 °C and 98% relative humidity for 48 h. Quality properties of sprouted wheat such as moisture, ash, fat, protein, mineral, fiber and ascorbic acid concentration were measured. Sprouted wheat was coated by immersion in nano-emulsion and then was packed at modified atmosphere (30% oxygen, 70% nitrogen), for 12 days at 4° C. The pH, weight loss, total phenol content, antioxidant activity and hardness of the samples were determined. Optimal and control samples were examined in terms of qualitative characteristics such as pH, weight loss, total phenol content, antioxidant activity and hardness during 0, 4, 8, 12, 16 and 20 days after production. In the present study, effects of independent variables such as essential oil concentration (A), chitosan concentration (B) and immersion time (C) on total phenolic content, antioxidant activity, ascorbic acid content, and hardness were investigated by Response Surface Method in the form of a central composite design with 6 central point ($\alpha=1.5$). Comparison of the optimal and control samples was done in a completely randomized design using SAS ver: 9.1 software.

Results and Discussion: An increase in chitosan and immersion time resulted in better preservation of total phenolic. The interaction effect of essential oil concentration and immersion time also resulted in better retention of total phenolic compounds. An increase in essential oil and chitosan concentration up to intermediate level increased the antioxidant activity. Chitosan and *Dracocephalum Kotschy* essential oil play a key role in maintaining the total phenolic content and antioxidant capacity of sprouted wheat by reducing gas exchange, respiration rate and the activity of polyphenol oxidase and peroxidase enzymes. Interaction effects of variables up to intermediate level resulted in higher level of preservation of ascorbic acid. The interaction effect of essential oil and chitosan at high levels led to better preserved of hardness. Coating treatment contains 25% chitosan with 84.18 ppm *Dracocephalum Kotschy* essential oil and 25s immersion time can be introduced as a safe and effective method to maintain the quality characteristics and increase wheat sprout shelf life. Coating of wheat sprout reduced the changes in pH, weight loss, total phenol content, ascorbic acid, antioxidant activity and hardness in coated samples during storage compared to the control sample. Furthermore, sensory properties did not change significantly after storage time. The results revealed that

the use of chitosan- *Dracocephalum Kotschy* oil coating delay bacterial and fungal decay and improved the quality characteristics and shelf life of sprouted wheat during storage. The results of this study indicated the positive effect of chitosan-*Dracocephalum Kotschy* oil nano-emulsion coating on preserving the quality of sprouted wheat.

Keywords: Sprouted wheat, Nano-emulsion coating, Chitosan, *Dracocephalum Kotschy*, Phenolic compounds, Hardness.



مقاله پژوهشی

اثر صمغ قدومه شیرازی بر خصوصیات فیزیکی - شیمیایی پودر دوغ تولیدشده به روش خشک کردن پاششی

نازنین بزازیان^۱ - اکرم آریانفر^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

چکیده

دوغ، یکی از نوشیدنی‌های سنتی ایرانیان است که از اختلاط ماست با آب و اندکی نمک حاصل می‌شود. تولید و صادرات دوغ به‌عنوان یک نوشیدنی تخمیری بومی ایران در سال‌های اخیر در حال افزایش است. یکی از عوامل موثر بر افزایش ضایعات دوغ، آلودگی ناشی از فعالیت کپک‌ها و مخمرها می‌باشد. از روش‌های رایج افزایش ماندگاری مواد غذایی مایع مانند دوغ، خشک کردن با استفاده از خشک‌کن پاششی است که موجب کاهش حجم، هزینه‌های حمل و نقل و کاربری آسان آن می‌گردد. هدف از این پژوهش تولید پودر دوغ به روش خشک کردن پاششی و بررسی اثر صمغ قدومه شیرازی بر خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آن می‌باشد. در این پژوهش از ماست ۱/۵ درصد چربی، نمک و آب مقطر به همراه صمغ قدومه شیرازی در غلظت‌های مختلف ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد به‌منظور تولید پودر دوغ استفاده شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر دوغ مانند pH، اسیدیته، ماده خشک، رطوبت، دوفاز شدن، حلالیت، پخش‌شوندگی، دمای انتقال شیشه‌ای و اندازه ذرات پودر بررسی گردید. پودر دوغ با استفاده از دستگاه خشک‌کن پاششی نیمه صنعتی با ظرفیت ۶ لیتر در ساعت و نازل نوع دو سیاله با دبی خوراک ورودی ۴۴/۵ میلی‌لیتر در دقیقه و دمای هوای ورودی خشک‌کن ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد تولید شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS با حداقل اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها با احتمال ۹۵٪ انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت صمغ قدومه شیرازی، میزان رطوبت پودر دوغ کاهش یافت. میزان اسیدیته، حلالیت، پخش‌شوندگی، اندازه ذرات و دمای انتقال شیشه‌ای پودر دوغ، افزایش و میزان دو فاز شدن کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش پایداری دوغ بازسازی شده از پودر دوغ و موثر بودن استفاده از صمغ قدومه شیرازی بوده است. با توجه به افزایش پایداری، افزایش درجه حلالیت، پخش‌شوندگی و دمای انتقال شیشه‌ای که از عوامل موثر در تولید پودرهای فوری می‌باشند، افزودن این صمغ موجب بهبود خصوصیات فیزیکی-شیمیایی پودر دوغ گردید.

واژه‌های کلیدی: پودر دوغ، خشک‌کن پاششی، قدومه شیرازی، خصوصیات فیزیکی-شیمیایی

مقدمه

نگهدارنده‌ها باعث کنترل رشد کپک‌ها و مخمرها می‌شود اما با توجه به ضوابط و قوانین وزارت بهداشت استفاده از هرگونه افزودنی نگهدارنده در دوغ غیرمجاز است. برخی از اهداف تولید محصولات لبنی جدید تخمیری خشک‌شده شامل بهبود زمان نگهداری محصول، کاهش حجم و به تبع آن کاهش فضای نگهداری و کم‌کردن هزینه‌های بسته‌بندی و حمل و نقل می‌باشند. از طرفی فراهم آوردن شرایطی که مصرف‌کننده بتواند دوغ را با غلظت و طعم مورد پذیرش خویش مصرف نماید اهمیت به سزایی دارد. علاوه بر آن با توجه به عدم دسترسی به دوغ تازه در شرایط و مناطق جغرافیایی خاص، تولید پودر دوغ کمک فراوانی به تامین نیازهای تغذیه‌ای مصرف‌کنندگان آن مناطق خواهدکرد. در خشک‌کن پاششی به‌منظور به‌دست‌آوردن پودر خشک از خوراک مایع استفاده می‌شوند.

قدومه شیرازی با نام علمی *Alyssum homolocarpum* از خانواده *crucifera* بوده و دارای ۱۰۰ تا ۱۷۰ گونه می‌باشد. این گیاه به‌عنوان یک داروی سنتی در ایران استفاده می‌شود. صمغ به‌دست

دوغ یک نوشیدنی لبنی تخمیری است که به مقدار زیاد در ایران و سایر کشورهای خاورمیانه مصرف می‌شود. امروزه به‌دلیل افزایش سطح آگاهی مردم نسبت به مضرات نوشابه‌های گازدار، مصرف دوغ با توجه به فواید تغذیه‌ای آن از جمله قابلیت هضم بالا و بهبود جذب کلسیم افزایش داشته است و بنابراین تمایل به تولید و مصرف آن در کشور رو به افزایش است. فساد دوغ در اثر فعالیت کپک‌ها و مخمرها عامل اصلی کاهش زمان ماندگاری آن می‌باشد. با توجه به بالا بودن قیمت انرژی و نیروی انسانی، استفاده از سردخانه‌های مجهز جهت نگهداری هزینه زیادی در برخواهد داشت. اگرچه استفاده از

۱ و ۲- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: a_aria_1443@yahoo.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.86590

کتیراهای گونه *آسترگالوس گوسپینیوس*، *آسترگالوس راهنسیس* و *آسترگالوس فلوکوسوس*، میزان آب‌اندازی به‌ترتیب به مقدار ۱۰۰، ۷۰/۷۳، ۸۲/۹۳ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. همچنین، اطلاعات به‌دست آمده از آزمون توزیع اندازه ذرات نشان‌دهنده ریزش ذرات تجمع یافته بعد از افزودن صمغ و به خصوص گونه *آسترگالوس گوسپینیوس* صمغ کتیرا بود. از طرفی، ویسکوزیته ظاهری نمونه دوغ حاوی این گونه، بیشتر از گونه‌های دیگر بود. ارزیاب‌های گروه ارزیابی حسی نمونه‌های حاوی این گونه را از همه لحاظ بهترین محصول تشخیص دادند. علت تفاوت در نقش پایدارسازی این سه گونه، بالاتر بودن محتوی اسید اورونیک و میزان جزء نامحلول صمغ کتیرا در گونه *آسترگالوس گوسپینیوس* نسبت به دو گونه دیگر بود که موجب ایجاد یک گدیسپرسیون کلوئیدی پایدارتر شد.

یکی از عمده ترین مشکلات در تولید نوشیدنی‌های اسیدی شیر، دو فاز شدن آنها در طی تولید و نگهداری است که این مسئله ناشی از گرانیوی پایین، pH کم و تاثیر آن بر ته‌نشین شدن پروتئین‌ها می‌باشد (فروغی‌نیا، ۲۰۰۷؛ آذری‌کیا، ۲۰۰۸) (Tuinier et al., 2002; Koksoy and Kilic, 2004). کیانی و همکاران (۱۳۸۸) اثر منبع و ماده خشک بدون چربی دوغ، بر پایداری و خواص رئولوژیک دوغ را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از شیر تازه و شیر خشک بدون چربی به‌عنوان دو منبع ماده خشک در غلظت‌های ۵ درصد برای دوغ حاصل از شیر تازه و غلظت ۱، ۲، ۴ و ۶ درصد برای دوغ حاصل از شیر خشک استفاده شد. با افزایش ماده جامد کل ضمن غیرنیوتنی شدن رفتار جریانی، ویسکوزیته افزایش نشان داد و حجم سرم جدا شده کاهش یافت. دوغ حاصل از شیر خشک، حتی در درصدهای پایین‌تر ماده خشک کل، نسبت به دوغ حاصل از شیر تازه، ویسکوزیته بالاتری نشان داد که به بزرگتر بودن ذرات کلوئیدی مربوط بود. مشاهدات نشان داد که ذرات کلوئیدی دوغ در گستره‌ای وسیع توزیع یافتند و شکل‌های مختلف با ساختاری متفاوت داشتند. عباسی و همکاران (۱۳۸۸) اثر صمغ گوار بر بافت و فراریت اسانس‌های اضافه شده به دوغ را مورد بررسی قرار دادند. از این صمغ در غلظت‌های ۰/۸، ۰/۱۰، ۰/۱۵ و ۰/۲۵ درصد استفاده شد. صمغ گوار به سبب اثری که بر افزایش ویسکوزیته و کاهش جداسازی سرم داشت، میزان فراریت اسانس‌های اضافه شده را کاهش داد. گروه ارزیاب‌ها، غلظت ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد را مناسب دیدند و غلظت ۰/۲۵ درصد به علت ایجاد ویسکوزیته بیش از حد در دوغ، مورد پذیرش قرار نگرفت. عبادتی و همکاران در سال ۱۳۹۳، بهینه‌سازی فرایند تولید پودر دوغ با خشک کردن کف‌پوشی به روش سطح پاسخ را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق درصد ترکیبات کف‌زای ورودی به خشک‌کن و اثر دماهای مختلف خشک کردن (۵۰، ۶۰ و ۷۰) بر دانسیته توده، رطوبت و حلالیت مورد بررسی قرار گرفت. که با

آمده از دانه قدومه شیرازی کاربردهای مختلفی به‌عنوان قوام‌دهنده و تثبیت‌کننده امولسیون دارد (کوچکی و همکاران، ۲۰۱۰). دانه این گیاه در تماس با آب با سرعت بالا جذب آب کرده و تولید موسیلاژ و مایع چسبنده کدر و بی طعمی می‌دهد. دانه این گیاه به‌عنوان مهمترین منبع تولیدکننده موسیلاژ و صمغ شناخته شده است. قدومه شیرازی جز صمغ‌های دانه‌ای (گالاکتومانان‌ها) طبقه‌بندی می‌شود گالاکتومانان‌ها به‌عنوان یک پلی‌ساکارید خطی شناخته شده است. هیدروکلئیدها ترکیبات محلول در آب بسیار ویسکوز هستند که محلول‌های آبی پایداری تشکیل می‌دهند (قنبرزاده، ۱۳۸۸).

بسیاری از پلی‌ساکاریدها به‌عنوان پایدارکننده عمل می‌کنند. این ترکیبات با افزایش گرانیوی فاز پیوسته یا ترکیبات ژل در فاز پیوسته باعث کاهش حرکت ذرات و قطرات می‌شوند و سرعت به‌هم پیوستگی ذرات و جدا شدن فازها از یکدیگر را کاهش می‌دهند. انواع مختلفی از پلی‌ساکاریدها مانند دکستران، گالاکتومانان و زایلوجلکان، صمغ‌ها، پکتین، کیتوزان و غیره می‌توانند به‌عنوان پایدارکننده استفاده شوند (حصاری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). صمغ دانه قدومه شیرازی نیز کاربردهای مختلفی به‌عنوان قوام‌دهنده و تثبیت‌کننده امولسیون دارد (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).

مالتودکسترین توانایی تشکیل ژل و نگهداری آب را دارد. بنابراین در صنعت به‌عنوان بهبوددهنده بافت با تشکیل ژل، نگهدارنده آب و جایگزین چربی به‌کار می‌رود. از جمله ویژگی‌های کاربردی مهم در سیستم‌های غذایی شامل افزایش حجم، ایجاد بافت و بدنه، تشکیل فیلم، اتصال به اجزای ایجادکننده طعم و چربی، محافظت در برابر اکسیدژن، براق‌کنندگی سطحی، کمک به پخش‌شوندگی و انحلال‌پذیری، کنترل انجماد و ممانعت از کریستالیزاسیون و ایجاد ویژگی‌های گسترش‌پذیری در محصول می‌باشد (Loreth و همکاران، ۲۰۰۶). Tromp و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند پکتین پلی‌ساکاریدی متشکل از واحدهای D گالاکتورونیک اسید است که این واحدها با پیوندی a به یکدیگر متصل هستند. این صمغ از هیدروکلئیدهای جاذب به‌شمار می‌رود و به دلیل نیروی الکترواستاتیک و از طریق ساز و کار ممانعت فضایی، موجب پایداری سامانه می‌شود. قربانی گرجی و همکاران (۱۳۹۰)، تاثیر سه گونه مختلف کتیرای ایرانی (*آسترگالوس گوسپینیوس*^۱، *آسترگالوس فلوکوسوس*^۲، *آسترگالوس راهنسیس*^۳)، بر ویژگی‌های رئولوژیکی و پایداری دوغ بدون چربی در سه غلظت ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد را مورد بررسی قرار دادند. بیشترین پایداری در نمونه‌های حاوی صمغ کتیرا از گونه *آسترگالوس گوسپینیوس* در غلظت ۰/۳ درصد به مدت ۳۰ روز بود. در غلظت ۰/۳ درصد از

- 1 *A.gossypinus*
- 2 *A. fluccosus*
- 3 *A. rahensis*

مواد و روش‌ها

برای تهیه دوغ از ماست ۱/۵ درصد چربی چوپان متشکل از: شیر، پودر شیرخشک بدون چربی ۱۰/۲٪، مایه ماست (۴/۱) pH، لبن دشت سمنان)، نمک طعام تصفیه شده (بنیامین نیشابور)، دانه قدومه شیرازی، مالتودکسترین (Food cam، GPC، DE=20، چین) و آب مقطر استفاده شد.

استخراج صمغ قدومه شیرازی

صمغ از دانه کامل با استفاده از آب مقطر با نسبت آب به دانه ۳۰ به ۱ با pH حدود ۸ و دمای ۴۸ درجه سانتی گراد استخراج گردید و در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون تحت خلا خشک و سپس پودر شد (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۹).

تهیه پودر دوغ

ابتدا آب نمک ۷٪ با آب مقطر کاملاً جوشیده در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد تهیه شد. پس از انحلال کامل به مدت ۵ دقیقه، علاوه بر نمونه شاهد (بدون صمغ)، مقدار مشخصی از صمغ قدومه شیرازی (در غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲ و ۰/۳ درصد به صورت جداگانه) و ۱ درصد مالتودکسترین اضافه گردید (میلانی و همکاران، ۱۳۹۷). محلول به مدت ۱۰ دقیقه با همزن مغناطیسی در دمای تقریباً ۶۰ درجه سانتی گراد همزده شد. پس از انحلال کامل و هیدراتاسیون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی گراد، ماست ۱/۵ درصد با pH=۴/۱ به میزان ۴۰ گرم اضافه شد. حجم نهایی دوغ در ۱۰۰ گرم محاسبه شد. جهت انحلال کامل ذرات از همزن مغناطیسی با دور ۲۰۰۰ دور دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد استفاده شد. سپس دما را تا ۲۰ درجه سانتی گراد کاهش داده و محصول نهایی در داخل بطری‌های ۵۰۰ سی سی بسته‌بندی شد.

توجه به نتایج به‌دست آمده مدل ارائه شده توسط روش سطح پاسخ برای همه پاسخ‌ها معنی‌دار شد و دانسته شده در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و رطوبت در ابتدا کاهش و سپس به دلیل خاصیت جاذبه الرطوبه بودن مالتودکسترین افزایش یافت و همچنین حالیت با افزایش میزان آلبومین و مالتودکسترین به صورت خطی افزایش یافت. در پژوهشی دیگر مالتودکسترین و صمغ عربی به‌عنوان پوشش در فرآیند خشک کردن پودر شیر را مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نوع و غلظت صمغ عربی و مالتودکسترین تاثیر واقعی بر عملکرد حالیت، مقدار آب و پروتئین موجود در شیر خشک شده را داشت. علاوه بر این، بهترین کیفیت مربوط به پودر شیر با مالتودکسترین با غلظت ۱۵٪ بود (Harmayani et al., 2011).

رشیدی و همکاران در سال ۱۳۹۴، اثر چربی و ماده خشک بر برخی از ویژگی‌های پودر دوغ تولید شده به روش آزمایشگاهی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، میزان چربی و ماده خشک اثر قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی پودر دوغ داشتند. بیشترین و کمترین میزان حالیت به ترتیب مربوط به نمونه پودر فرمول اول (دوغ با چربی ۰/۵ و ماده خشک بدون چربی بدون نمک ۳/۵ درصد و نمک ۰/۷ درصد) و سوم (دوغ با چربی ۰/۵ و ماده خشک بدون چربی بدون نمک ۴/۵ و نمک ۰/۷ درصد) و برابر ۸۲/۱۱±۰/۶۲ در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و ۶۳/۱۸±۰/۳۳ در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد بود. همچنین افزایش میزان چربی موجب کاهش حالیت پودر دوغ، اندازه ذرات و افزایش میزان باکتری‌های آغازگر زنده مانده در دوغ شد.

هدف از این پژوهش تولید پودر دوغ به روش خشک کردن پاششی و بررسی اثر صمغ قدومه شیرازی بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی آن می‌باشد. با توجه به عدم دسترسی به دوغ تازه در شرایط و مناطق جغرافیایی خاص، تولید پودر دوغ کمک فراوانی به تامین نیازهای تغذیه‌ای مصرف‌کنندگان آن مناطق خواهد کرد.

جدول ۱- فرمولاسیون نمونه‌های دوغ

آزمون	صمغ (درصد بر حسب ماده خشک)	مالتودکسترین (درصد)	نمک (درصد)
فرمول اول	۰/۰۵	۱	۰/۰۷
فرمول دوم	۰/۱	۱	۰/۰۷
فرمول سوم	۰/۱۵	۱	۰/۰۷
فرمول چهارم	۰/۲	۱	۰/۰۷
شاهد	صفر	۱	۰/۰۷

(یک سیال هوا با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و دمای خوراک ۲۵ درجه سانتی گراد) و فشار هوای نازل ۲ بار، ساخت شرکت سروش صنعت نیشابور خشک و تبدیل به پودر گردیدند (جدول ۱). شرایط بهینه پس از تولید بهترین پودر دوغ مورد نظر، یادداشت گردید. با توجه به جدول

دوغ‌های تهیه شده با استفاده از شرایط بهینه خشک‌کن، دبی خوراک ورودی ۴۴/۵ میلی‌لیتر در دقیقه و دمای هوای ورودی خشک‌کن ۱۹۰ درجه سانتی گراد، با استفاده از دستگاه خشک‌کن پاششی نیمه صنعتی با ظرفیت ۶ لیتر در ساعت و نازل نوع دو سیاله

اندازه‌گیری رطوبت

این آزمون بر اساس استاندارد ملی ایران، به شماره ۸۷۸۱: سال ۱۳۸۵ تحت عنوان شیر خشک-تعیین میزان رطوبت-روش آزمون مرجع، انجام شد. به این صورت که، نمونه را در گرمخانه با دمای ۸۷ درجه سلسیوس به مدت زمان ۵ ساعت قرار داده تا هوای خشک از میان نمونه عبور کند. میزان رطوبت از روی میزان کاهش جرم نمونه (که با مقدار آب غیریونی مرتبط باشد) تعیین شد (رشدی و همکاران، ۱۳۹۴، استاندارد ملی ایران، ۸۷۸۱، ۱۳۸۵).

اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای

روش گرماسنجی افتراقی با استفاده از دستگاه TG (Perkin dmler، انگلستان) اندازه‌گیری شد. ۲ میلی‌گرم نمونه به ظرف آلومینیومی استاندارد منتقل شد و از یک ظرف خالی آلومینیومی به عنوان مرجع استفاده شد. اسکن کردن حرارتی از ۲۰- تا ۲۰۰ درجه با نرخ گرمادهی ۱۰ درجه در دقیقه انجام شد (رشدی و همکاران، ۱۳۹۴). عدد گزارش شده میانگین ۳ تکرار بود.

اندازه‌گیری اندازه ذرات پودر دوغ

اندازه ذرات با دستگاه تعیین اندازه ذره (Malvern، انگلستان) تعیین شد. عامل دیسپرسیون آب دیونیزه، فشار توزیع کننده ۱۰۰۰ میلی‌بار، فرکانس ویبراتور ۸۰ هرتز، قدرت ویبراتور ۹۰٪ و فاصله زمانی بین لرزش ویبراتور و رد شدن نمونه از جلوی لیزر ۱۵ ثانیه و زمان بین هر دو اندازه‌گیری ۳۰ ثانیه بود. اندازه ذره گزارش شده برای هر نمونه ۵. d_{۵۰} و میانگین ۵ تکرار بود (امیری ریگی و همکاران، ۲۰۱۲).

اندازه‌گیری ماده خشک

این آزمون بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۳۲۸، تحت عنوان شیر، خامه و شیر تبخیر شده اندازه‌گیری مقدار کل ماده خشک (روش مرجع)، انجام شد. به این صورت که بعد از آماده‌سازی ظرف مورد نظر، یک گرم پودر دوغ وزن شده و سپس ظرف اریب شده تا آزمون به‌طور یکنواخت در سراسر کف ظرف، پخش شود. سپس ظرف بدون سرپوش روی حمام آب که به شدت در حال جوش بود، قرار گرفت و به مدت زمان سی دقیقه گرم شد، سپس ظرف بدون درب از روی حمام آب برداشته و به مدت زمان دو ساعت درون گرمخانه حرارت داده شد. سپس، سرپوش روی ظرف قرار گرفته و به دسیکاتور، منتقل شد. در نهایت ظرف در دمای اتاق خنک شد (به مدت سی دقیقه) و وزن شد. مجدداً این کار را با این تفاوت که مدت زمان گرم‌خانه را به یک ساعت کاهش دادیم تکرار شد و این کار را تا زمانی که اختلاف جرم بین دو توزین متوالی از یک میلی‌گرم بیشتر

چهار فرمولاسیون مختلف با درصد صمغ مورد نظر و یک نمونه شاهد با استفاده از خشک‌کن پاششی (سروش صنعت نیشابور، ایران) تولید شدند (خلیلیان موحد و همکاران، ۲۰۱۵).

اندازه‌گیری pH و اسیدیته

این آزمون‌ها بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۵۲، تحت عنوان شیر و فراورده های آن-تعیین اسیدیته و pH روش آزمون، انجام شد (رشدی و همکاران، ۱۳۹۴، استاندارد ملی ایران ۲۸۵۲، ۱۳۸۵).

اندازه‌گیری حلالیت

جهت اندازه‌گیری حلالیت پودر دوغ، ۰/۵ گرم نمونه پودر دوغ به همراه ۵۰ سی سی آب مقطر داخل فالدون ۵۰ میلی‌لیتری، به مدت ۵ دقیقه مخلوط شده و سپس به مدت ۵ دقیقه با دستگاه سانتریفوژ (۳۵، Hettich|Rotina) با دور ۳۰۰۰، سانتریفوژ گردید. ۲۵ میلی‌لیتر از مایع رویی به داخل ظرف مخصوص اندازه‌گیری محتوای رطوبت منتقل شد و نمونه بلافاصله در دمای ۱۰۵ درجه، به مدت ۵ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. در نهایت درصد حلالیت براساس تفاوت وزن محاسبه گردید (قادری و همکاران، ۱۳۸۹).

اندازه‌گیری میزان پخش‌شوندگی

جهت اندازه‌گیری میزان پخش‌شوندگی مطابق با قادری و همکاران (۱۳۸۹)، مقدار ۱ گرم پودر به ۱۰ سی سی آب مقطر در یک بالن ۵۰ سی سی اضافه و به‌طور عمودی هم‌زده شد بدین صورت که ابتدا دست موازی زمین بود و سپس دست ۹۰ درجه بالا آمده به‌طوری که عمود بر زمین شد، در نهایت تعداد دفعاتی که لازم بود تا پودر کاملاً در داخل آب پخش‌شود تا جاییکه ذرات پودر قابل مشاهده نباشد، در ۳ تکرار برای هر نمونه شمارش شد.

اندازه‌گیری میزان دوفاز شدن

برای تعیین میزان جداسازی فازی مطابق با فروغی‌نیا و همکاران (۲۰۰۷) و طاهری و همکاران (۲۰۰۹)، از استوانه‌های مدرج ۱۰۰ میلی‌لیتری هم شکل استفاده شد. پس از ریختن نمونه‌ها در استوانه مدرج، دربندی توسط فویل آلومینیوم انجام شد. نمونه‌ها به یخچال منتقل شده و در ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۱ روز نگهداری شدند. برای ثبت میزان جدایی فازها، در زمان‌های معین، در روزهای صفر، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس از تولید، حجم فراورده از انتهای استوانه مدرج تا حد فاصل جدایی فاز بعدی (فاز ته‌نشین شده) بر حسب درصد گزارش شد.

که باعث تجمع پروتئین‌های شیر و در نتیجه ایجاد ناپایداری محصول می‌شود (کارآموز و همکاران، ۱۳۹۵).

pH نوشیدنی‌های تخمیری لبنی در محدوده ۳/۹۸ تا ۴/۴۶ می‌باشد و به دلیل عدم پایداری کازئین در این pH، استفاده از یک پایدارکننده با هدف جلوگیری از متراکم شدن پروتئین‌ها و همچنین دستیابی به احساس دهانی مطلوب ضروری می‌باشد. قوام مناسب و بافت هموژن جهت ایجاد احساس دهانی مطلوب در نوشیدنی‌های اسیدی شیر می‌باشد (Tuinier et al., 2002).

علت کاهش pH و افزایش اسیدیته را می‌توان به فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید و مضر نسبت داد که طی نگهداری لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و استریتوکوکوس ترموفیلوس حتی در دمای یخچال هم فعال هستند و با تخمیر لاکتوز، اسید لاکتیک تولید می‌کنند و اسیدیته را افزایش و pH را کاهش می‌دهند (Shah et al., 1995; Kailasapathy, 2006).

با به پایان رسیدن منابع قندی میکروارگانیسم‌ها پروتئین‌های موجود در محیط و نیز اسیدهای آلی را مصرف کرده و این باعث افزایش pH و کاهش اسیدیته می‌گردد (Jai, 1990). هیدروکلوئیدها اغلب با جذب آب، محلول‌هایی با ویسکوزیته بالا تولید می‌کنند. بنابراین از این ترکیبات برای تهیه ژل، به عنوان پایدارکننده و بهبوددهنده بافت مورد استفاده قرار می‌گیرند (فاطمی، ۱۳۷۶).

نشد ادامه سافت و کمترین جرم را به عنوان مقدار ماده خشک ثبت کردیم (استاندارد ملی ایران، ۱۳۳۸، ۱۳۹۳).

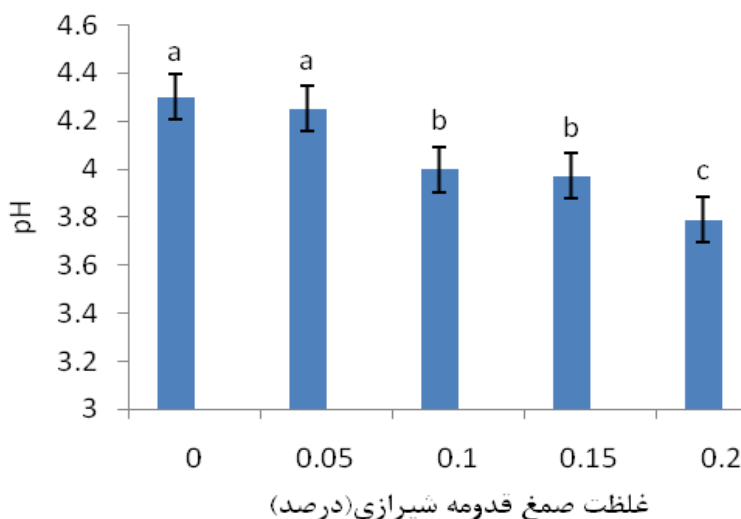
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌ها در قالب طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. روابط بین متغیرهای مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

نتایج و بحث

اثر صمغ قدومه شیرازی بر pH پودر دوغ

با توجه به شکل ۱، با افزایش غلظت صمغ، pH کاهش یافته است، اما این تغییرات چندان معنی‌دار نیست ($p > 0.05$). همان گونه که مشاهده می‌شود کمترین مقدار pH مربوط به نمونه ۰/۲ درصد صمغ و بیشترین مقدار pH مربوط به نمونه شاهد بوده است (سخت‌آوی‌زاده، ۱۳۹۲). احتمالاً علت افزایش جزئی در میزان pH، افزایش میزان ماده خشک در اثر افزودن صمغ و در نتیجه تحریک باکتری‌های مولد اسید و تولید اسید بوده است. از ویژگی‌های مهم نوشیدنی‌های لبنی اسیدی pH پایین و ویسکوزیته کم آن‌ها می‌باشد



شکل ۳- اثر صمغ قدومه شیرازی بر pH پودر دوغ

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$)

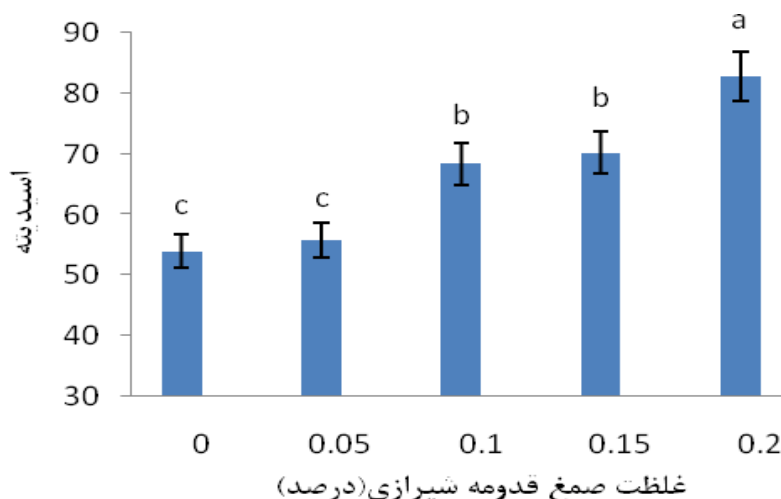
افزایش یافته است ($P < 0.05$). علت افزایش اسیدیته در غلظت‌های بالای صمغ، افزایش ماده خشک و ویسکوزیته و در نتیجه تحریک باکتری‌های مولد اسید بوده است (رضوی، ۱۳۹۰).

اثر صمغ قدومه شیرازی بر اسیدیته پودر دوغ

با توجه به شکل ۴، مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت صمغ از ۰/۵ تا ۰/۱ درصد و ۰/۱۵ تا ۰/۲ درصد اسیدیته به طور معنی‌دار

می‌دهند (Shah *et al.*, 1995; Jai, 1990). اما با به پایان رسیدن منابع قندی، میکروارگانیسم‌ها پروتئین‌های موجود در محیط و نیز اسیدهای آلی را مصرف کرده و این باعث افزایش pH و کاهش اسیدیته محصول می‌گردد (Jai, 1990).

Supavititpatana و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که با افزایش غلظت ژلاتین، اسیدیته دوغ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. طی نگهداری میکروارگانیسم‌های موجود در ماست با تخمیر لاکتوز، اسیدلاکتیک تولید می‌کنند و اسیدیته را افزایش و pH را کاهش

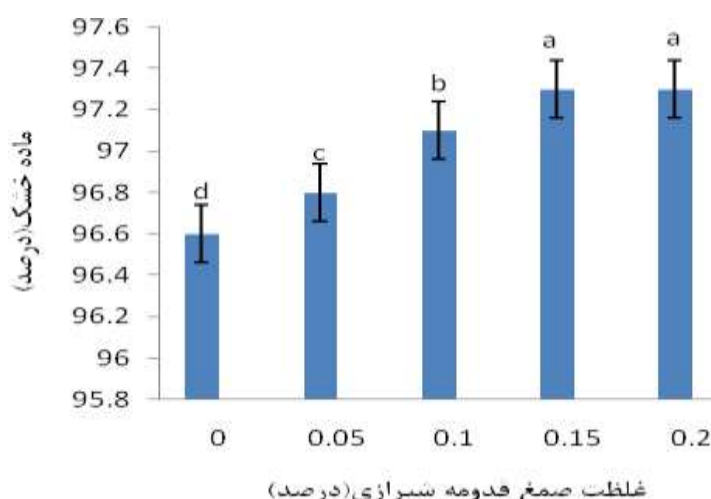


شکل ۴- اثر صمغ قدومه شیرازی بر اسیدیته پودر دوغ
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$)

استاندارد تعیین شده توسط کدکس (حداکثر رطوبت مجاز ۵٪) بود (قادری و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به اهمیت میزان ماده خشک بر ویژگی‌های رئولوژیکی و پایداری دوغ باید عنوان کرد که افزودن صمغ قدومه شیرازی موجب افزایش ماده خشک نمونه‌ها شده است ($p < 0.05$).

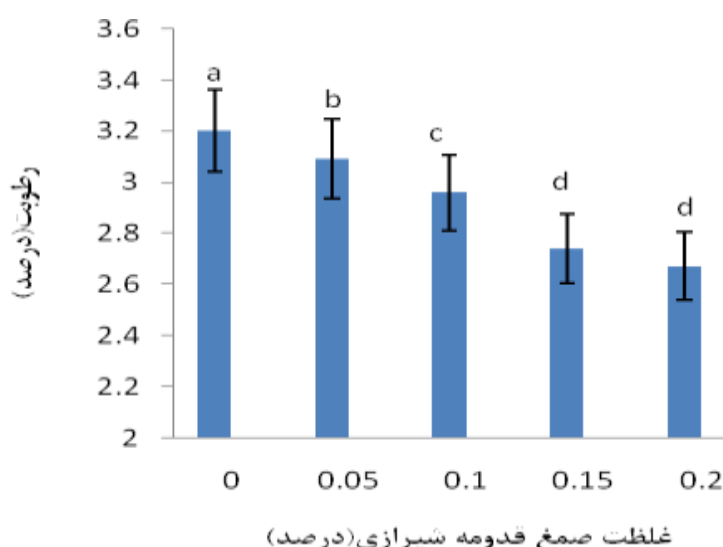
اثر غلظت صمغ قدومه شیرازی بر میزان ماده خشک پودر دوغ

میزان ماده خشک در محدوده ۹۶/۹۸ تا ۹۷/۳۲ قرار داشت. با توجه به شکل ۵، کمترین میزان ماده خشک مربوط به نمونه شاهد و بیشترین میزان ماده خشک مربوط به نمونه ۰/۲ بود. در هر صورت، مقدار ماده خشک به‌دست آمده برای پودرها تقریباً در محدوده



شکل ۵- اثر صمغ قدومه شیرازی بر میزان ماده خشک پودر دوغ
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$)

حالت، جذب رطوبت در سطح ذرات از طریق پیوندهای هیدروژنی صورت می‌گیرد. این پدیده وابسته به دما و رطوبت نسبی محیط بوده و طی آن، انواع پودرهای غذایی جاذب الرطوبه (نظیر نمک و قندها و...) از حالت جامد به شکل مایع تبدیل می‌شوند (پیغمبردوست و همکاران، ۱۳۹۴). رشیدی و همکاران در سال ۱۳۹۴، دریافتند با افزایش میزان رطوبت دمای انتقال شیشه‌ای کاهش و با کاهش میزان رطوبت دمای انتقال شیشه‌ای افزایش یافت، در نتیجه رطوبت با دمای انتقال شیشه‌ای رابطه معکوس داشت.



شکل ۶- اثر صمغ قدومه شیرازی بر میزان رطوبت پودر دوغ
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$)

هیدروکلوئیدها اغلب با جذب آب، محلول‌هایی با ویسکوزیته بالا تولید می‌کنند. بنابراین، از این ترکیبات برای تهیه ژل، به‌عنوان پایدارکننده و بهبوددهنده بافت مورد استفاده قرار می‌گیرد. صمغ‌ها از گیاهان، جلبک‌های دریایی و میکروارگانیسم‌ها تهیه می‌شوند. به علت ویژگی‌های فیزیکی مفیدشان کاربرد وسیعی در فرآورده‌های غذایی دارند (کوچکی و همکاران، ۲۰۱۰).

صمغ دانه قدومه شیرازی نیز کاربردهای مختلفی به‌عنوان قوام‌دهنده و تثبیت‌کننده امولسیون دارد (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). این صمغ با افزایش گرانیروی فاز پیوسته یا ترکیبات ژل در فاز پیوسته باعث کاهش حرکت ذرات و قطرات می‌شوند و سرعت به‌هم پیوستگی ذرات و جدا شدن فازها از یکدیگر را کاهش می‌دهد. برهمکنش‌های (غیر کووالانسی)، الکترواستاتیک، هیدروفوبیک، هیدروژنی و دافعه فضایی نیز بین بیوپلیمرها (پروتئین دوغ و قدومه شیرازی) وجود دارد که بر کشش بین سطحی، بار ذرات و پایداری دوغ بازسازی شده نقش دارد (حصاری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). اساساً پایداری میسل‌های

اثر صمغ قدومه شیرازی بر میزان رطوبت پودر دوغ

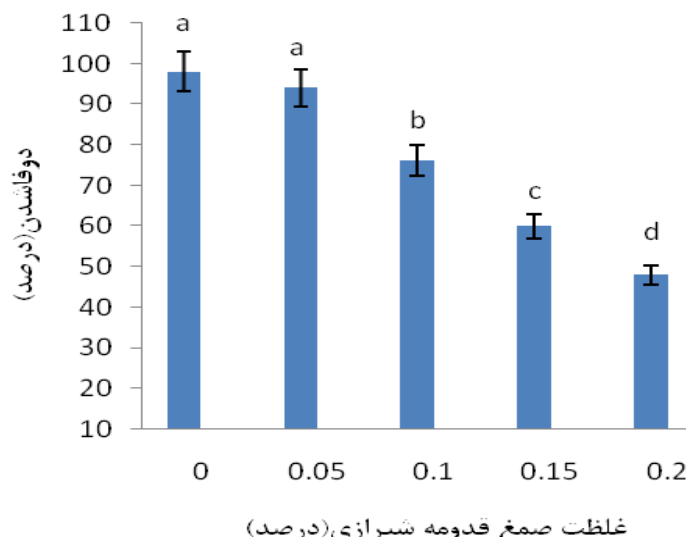
با توجه به شکل ۶، با افزایش غلظت صمغ، رطوبت کاهش یافته اما بین نمونه‌های ۰/۱۵ با ۰/۲ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در واقع با افزایش صمغ قدومه شیرازی به دلیل افزایش آب آزاد و در دسترس جهت تبخیر، رطوبت پودر کاهش یافته است (پیغمبردوست و همکاران، ۱۳۹۴). تغییر در ماهیت پودر دوغ، به دلیل جاذب الرطوبه بودن شدید آن طی زمان نگهداری و همچنین بروز پدیده ای به نام آب‌شدن است که ویژگی‌ها، پایداری فیزیکی و شیمیایی پودرهای غذایی را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این

اثر صمغ قدومه شیرازی بر میزان دو فاز شدن پودر دوغ

با توجه به شکل ۷، میزان آب‌انداختن نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف صمغ قدومه شیرازی، پس از گذشت سه هفته نشان می‌دهد که استفاده از صمغ جداشدن سرم را، به‌طور معنی‌داری کاهش داده است. تفاوت بین نمونه‌های حاوی صمغ و شاهد پس از گذشت سه هفته همچنان به شدت خود باقی است به‌گونه‌ای که پس از سه هفته میزان جداشدن سرم در نمونه شاهد بیشتر از نمونه ۰/۲ صمغ قدومه شیرازی بود. مکانیسم عمل هیدروکلوئیدها در جلوگیری از دو فاز شدن سرم، به ساختار مولکولی هیدروکلوئید مورد استفاده بستگی دارد، در صورتیکه صمغ مورد استفاده باردار باشد از طریق ممانعت فضایی و دفع الکترواستاتیک سبب پایداری نوشیدنی‌های تخمیری می‌شود. (فروغی‌نیا و عباسی، ۲۰۰۸). به‌نظر می‌رسد مکانیسمی که در این بررسی باعث افزایش پایداری دوغ می‌شود، افزایش ویسکوزیته و به دام افتادن ذرات پروتئینی در یک شبکه ژلی که توسط صمغ مورد استفاده ایجاد شده است، می‌باشد.

قدرت یونی و کاهش قابلیت انحلال)، ناپایداری در میسل های کازئین رخ می دهد زیرا در اثر اسیدی شدن محیط، فسفات کلسیم به تدریج از میسل خارج شده، بارالکتریکی منفی میسل کاهش می یابد و میسل کازئین متلاشی می شود (Dickinson et al., 1998; Wal,stra, 2003).

کازئین در pH طبیعی شیر به علت قرار گرفتن کاپا-کازئین ها در سطح میسل کازئین است که با تشکیل لایه های مویی در سطح آنها و سازوکارهای دافعه فضایی و الکترواستاتیک، مانع نزدیک شدن میسل به یکدیگر می گردند. در صورتیکه به هر دلیلی لایه های مویی جدا شوند (شکسته شدن توسط آنزیم های دلمه کننده شیر) و یا متلاشی گردند (از دست دادن بار خالص موثر با کاهش pH، افزایش

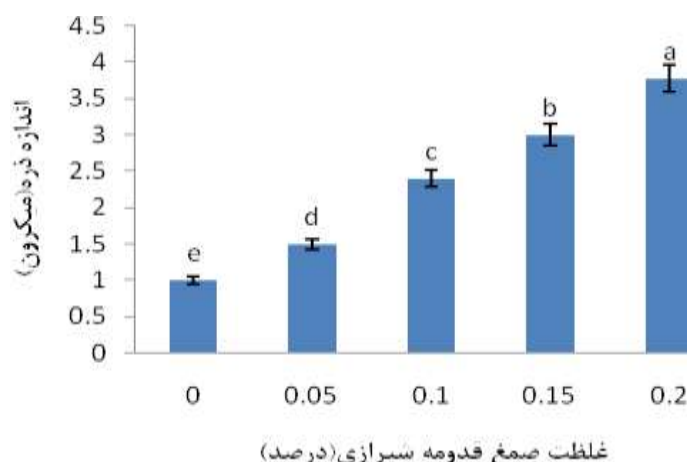


شکل ۷- اثر صمغ قدومه شیرازی بر میزان دوفاز شدن پودر دوغ
حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است ($p > 0.05$)

ایزوله پروتئین سویا-پکتین چغندر، باعث افزایش اندازه ذرات امولسیون حاصل از آن شد و دلیل آن را به حضور پکتین جذب نشده در سطح ذرات روغن نسبت دادند که باعث تجمع نقصانی شده و اندازه ذرات را افزایش می دهد. عامل دیگر موثر بر روی اندازه ذرات دمای ورودی خشک کن می باشد. هنگامی که دمای خشک کن به اندازه کافی بالا باشد رطوبت ذرات به سرعت تبخیر شده و پوسته آنها سخت و خشک می گردد. بنابراین فرصتی برای تخلیه بخار موجود در ذرات پودر وجود نخواهد داشت و تخلخل پودر بیشتر می شود (Chegini and Ghobadian, 2007; Banat et al., 2002). کیانی و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که زانتان در ترکیب با هیدروکلوئیدهای دیگر و پروتئین آب پنیر، به طور معنی داری باعث افزایش اندازه ذرات کلوئیدی شده است و نمونه دوغ حاوی پروتئین آب پنیر پکتین-زانتان، بیشترین افزایش در اندازه ذره را نشان داد. افزودن پروتئین آب پنیر به صورت مخلوط با زانتان باعث وسیع تر شدن گستره اندازه ذرات و افزایش اندازه آنها شده است. پکتین با ترکیب پروتئین آب-پنیر-زانتان اثر هم افزایی نشان داد (باقری و همکاران، ۱۳۹۲).

اثر صمغ قدومه شیرازی بر اندازه ذرات پودر دوغ

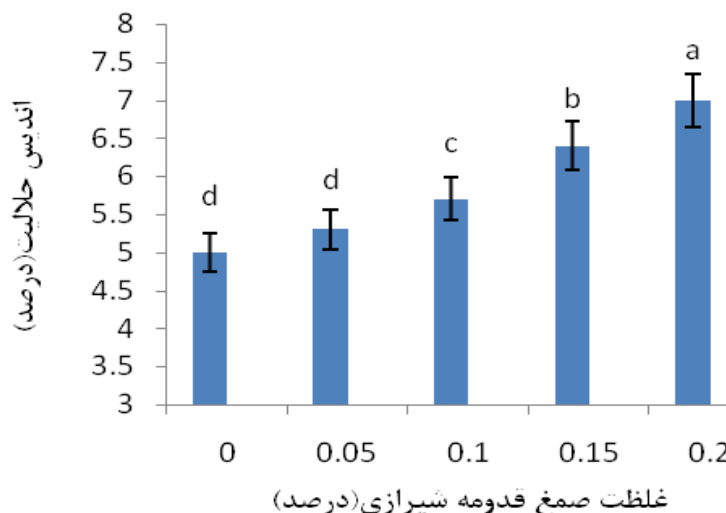
باتوجه به شکل ۸، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت صمغ اندازه ذرات پودر دوغ به طور معنی داری افزایش یافت ($p < 0.05$). به نظر می رسد که پروتئین های دوغ و هیدروکلوئیدهای به کار رفته، باهم برهمکنش داده و دامنه وسیع تری از اندازه ذره را ایجاد نموده است (کیانی و همکاران، ۲۰۱۰). اندازه ذرات پودر در محدوده ۱ تا ۳/۵۸ میکرومتر بود. بیشترین اندازه ذره مربوط به نمونه حاوی ۰/۲ درصد صمغ بود و کمترین اندازه ذره مربوط به نمونه شاهد بود. به طور کلی اندازه ذرات به دست آمده توسط خشک کن های پاششی تحت تاثیر خواص فیزیکی و غلظت خوراک ورودی به خشک کن می باشد به طوری که با افزایش ویسکوزیته خوراک ورودی به محفظه خشک کن، اندازه ذرات افزایش می یابد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۳). با افزایش میزان چربی، در پودر اندازه ذرات به علت ذوب شدن چربی در دمای خشک کن و تخلیه بخارات موجود در ذرات پودر و چروکیده شدن آنها کاهش می یابد (Nijdam and Langrish, 2006). Xu و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که افزایش نسبت پکتین در مخلوط



شکل ۸- اثر صمغ قدومه شیرازی بر میزان اندازه ذرات پودر دوغ
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$)

حلالیت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). علت این پدیده، افزایش تخلخل ذرات پودر با افزایش غلظت صمغ می‌باشد.

اثر صمغ قدومه شیرازی بر اندیس حلالیت پودر دوغ همان‌طور که در شکل ۹، مشاهده می‌شود، بین نمونه شاهد با نمونه دارای ۰/۰۵ درصد صمغ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0.05$). با افزایش غلظت صمغ از ۰/۰۵ تا ۰/۲ درصد، اندیس



شکل ۹- اثر صمغ قدومه شیرازی بر تغییرات اندیس حلالیت پودر دوغ
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$)

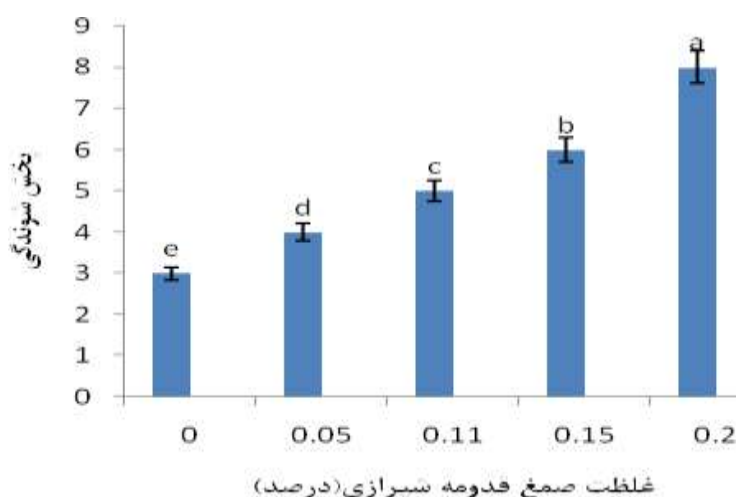
می‌باشد. طی خشک‌کردن مقداری از قسمت‌های آبدوست زنجیره پروتئینی تخریب می‌شود و طی بازسازی و با افزودن آب، جذب آب توسط کازئین‌ها به میزان حالت طبیعی نخواهد بود که این پدیده نیز یکی از علل کاهش حلالیت پودرهای لبنی می‌باشد (Gaiani et al.,

نتایج فوق با نتایج مشایخ و همکاران (۲۰۱۳) و شریفی و همکاران (۱۳۹۴) در تطابق است. کازئین‌ها در حالت طبیعی دارای مقدار زیادی آب می‌باشند (۴/۴ میلی گرم آب در هر گرم کازئین) و اتصال با آب از طریق پیوندهای هیدروژنی با قسمت آبدوست زنجیره پروتئین برقرار

همکاران (۱۳۹۴) در بررسی تأثیر برخی پارامترهای تولید و زمان نگهداری بر ویژگی‌های جریان‌پذیری پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی دریافتند که با افزایش درصد مالتودکسترین تخلخل و حلالیت پودرها افزایش یافته است. سرابندی و همکاران (۱۳۹۵) و یگانه‌زاد و همکاران (۱۳۹۷) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند

اثر صمغ قدومه شیرازی بر میزان پخش‌شوندگی پودر دوغ

پخش‌شوندگی در واقع، پخش شدن یکنواخت ذرات پودر در مایع می‌باشد (عباسی، ۱۳۸۸؛ Kumar and Mishra, 2004). با افزایش میزان صمغ، میزان پخش‌شوندگی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. علت این افزایش، کاهش میزان رطوبت و افزایش تخلخل پودر می‌باشد (یگانه‌زاد، ۱۳۹۷). پیغمبردوست و همکاران (۱۳۹۴)، در بررسی اثر پارامترهای تولید بر جریان‌پذیری پودر ماست دریافتند که با افزایش میزان مالتودکسترین، جذب رطوبت طی زمان نگهداری کاهش و جریان‌پذیری و پخش‌شوندگی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰- اثر صمغ قدومه شیرازی بر میزان پخش‌شوندگی پودر دوغ
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$)

برهمکنش پروتئین-پلی‌ساکارید در سامانه‌های کلوئیدی و امولسیون‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است (Benichou et al., 2002). با افزایش صمغ، میزان پخش‌شوندگی افزایش یافت و با نتایج این تحقیق در تطابق است (صادقی و همکاران، ۲۰۱۵).

اثر غلظت صمغ قدومه شیرازی بر میزان دمای انتقال شیشه‌ای پودر دوغ

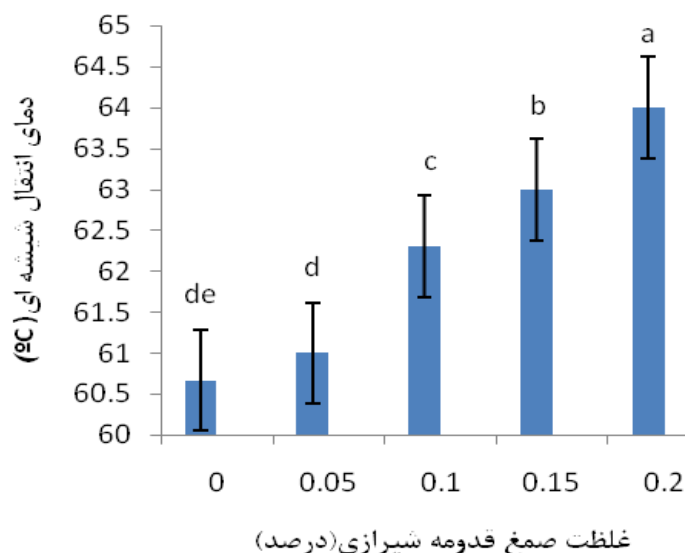
همان‌طور که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲، مشاهده می‌شود با افزایش غلظت صمغ و کاهش رطوبت، دمای انتقال شیشه‌ای نمونه‌های پودر

۲۰۰۶). عدم حلالیت کافی پودرهای لبنی مشکلاتی را در هنگام استفاده صنعتی از آن‌ها ایجاد می‌کند. نقطه ذوب اسیدهای چرب شیر در محدوده ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار دارد و با توجه به دمای فرایند، این چربی‌ها در حین خشک کردن در حالت مایع قرار دارند که به راحتی در سطح ذرات پودر قرار می‌گیرند و موجب افزایش چربی سطحی، ایجاد اتصال بین ذرات چربی در سطح پودر و کاهش حلالیت می‌شوند (Hardas et al., 2008). احتمالاً برهمکنش‌های بین صمغ قدومه شیرازی و پروتئین دوغ، با ایجاد شبکه سه‌بعدی و افزایش تخلخل ذرات، حلالیت پودر دوغ را افزایش می‌دهند. در تحقیقی که صادقی و همکاران در سال ۲۰۱۵ بر روی خواص فیزیکی‌شیمیایی پودر دوغ با استفاده از صمغ گوار انجام دادند، اندیس حلالیت ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. در پژوهش قادری و همکاران (۱۳۸۹) بر روی پودر ماست انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با توجه به اینکه حضور اسید لاکتیک مستقیماً باعث افزایش شاخص حلالیت می‌شود، حلالیت به‌دلیل وجود مقدار زیاد اسید لاکتیک در ماست نسبت به دوغ، افزایش یافت. پیغمبر دوست و

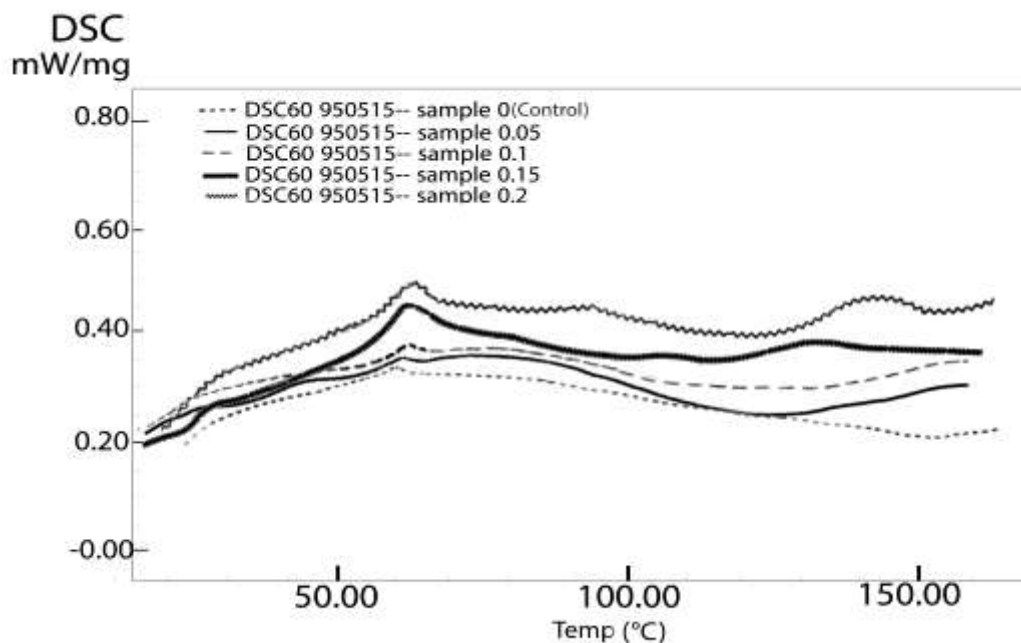
بنابراین پودری که دارای پراکنش بالایی است در مقابل پودر با پراکنش پایین زمان کمتر، نیروی کمتری برای پخش شدن در مایع نیاز دارد (قادری و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجا که پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها در بسیاری از مواد غذایی حضور دارند، برهمکنش‌های بین این دو بیوپلیمر اهمیت زیادی داشته و باعث افزایش خصوصیات عملکردی آن‌ها می‌شوند. (برهمکنش‌های غیرکووالانسی) الکترواستاتیک، هیدروفوبیک، هیدروژنی و دافعه فضایی که بین بیوپلیمرها وجود دارد بر کشش بین سطحی، بار ذرات و پایداری سیستم‌های کلوئیدی نقش دارد (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).

بسیار پایین و معادل ۱۳۵- درجه سانتی‌گراد است و از این‌رو اثر چشمگیری در پایین آوردن دمای انتقال شیشه‌ای کلی پودرهای لبنی دارد (Chuy et al, 1994). رشیدی و همکاران (۲۰۱۵) دمای انتقال شیشه‌ای چهار فرمول پودر دوغ بدون صمغ را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد میزان دمای انتقال شیشه‌ای با افزایش میزان رطوبت، کاهش می‌یابد که با نتایج حاضر، در تطابق است.

افزایش یافته است و با افزایش غلظت صمغ، تفاوت افزایش می‌یابد. نمونه شاهد کمترین و نمونه ۰/۲ صمغ بیشترین دمای انتقال شیشه‌ای را داشتند ($P < 0.05$). نتایج فوق با نتایج یگانه‌زاد و همکاران (۱۳۹۷) و رشیدی و همکاران (۲۰۱۵) در تطابق است. دمای انتقال شیشه‌ای یک ماده فوق اشباع و بی‌شکل به محدوده دمایی گفته می‌شود که ماده مورد نظر از حالت شیشه‌ای به حالت لاستیکی تغییر می‌کند (Hogan et al., 2010). دمای انتقال شیشه‌ای آب خالص



شکل ۱۱- اثر غلظت صمغ قدومه شیرازی بر میزان دمای انتقال شیشه‌ای پودر دوغ
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$)



شکل ۱۲- اثر غلظت صمغ قدومه شیرازی بر میزان دمای انتقال شیشه‌ای پودر دوغ (نمودار DSC)

نتیجه گیری

در این پژوهش از ماست ۱/۵ درصد چربی چوپان، نمک و آب مقطر به همراه صمغ دانه قدومه شیرازی در غلظت‌های صفر، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد جهت تولید پودر دوغ استفاده شد. دوغ‌ها با استفاده از دستگاه خشک‌کن پاششی در شرایط بهینه، دبی خوراک ورودی ۴۴/۵ میلی‌لیتر در دقیقه و دمای هوای ورودی خشک‌کن ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت صمغ قدومه شیرازی، میزان رطوبت پودر دوغ کاهش یافت. میزان اسیدیته، حلالیت، پخش‌شوندگی، اندازه ذرات و دمای انتقال شیشه‌ای پودر دوغ، افزایش و میزان دوفاز شدن کاهش یافت که نشان‌دهنده

منابع

- رشیدی ک، مشایخ م، مرتضویان ا، امیری ز. ۱۳۹۴. اثر چربی و ماده خشک بر برخی از ویژگیهای پودر دوغ تولید شده به روش آزمایشگاهی. علوم و صنایع غذایی ایران. ۷۸:۷۱-۷۸ (۴۸).
- عبادت‌ن، ح، شریفی الف و نیاکوثری م، ۱۳۹۳. بهینه سازی فرایند تولید پودر دوغ با خشک کردن کف پوشی به روش سطح پاسخ، سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان.
- قنبرزاده، ب ۱۳۸۸. مبانی رئولوژی مواد و بیوپلیمرهای غذایی، انتشارات دانشگاه تهران.
- کارآموز ن، محمدی ثانی ع و رشیدی ح، ۱۳۹۵. تاثیر افزودن هیدروکلوئیدهای ژلان، کتیرا و پکتین با متوکسیل بالا در پایدارسازی دوغ. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. شماره ۵۲، دوره ۱۳.
- باقری، ل، مددلو، ا، ۱۳۹۲. ویژگی های رئولوژیکی و پایداری دوغ حاوی نعنای تولید شده با فناوری ژل سیال با استفاده از ترکیب پروتئین آب پنیر واسرشته-ژانتان. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۳(۴).
- پیغمبردوست، ه، سرابندی، خ. ۱۳۹۴. تاثیر برخی پارامترهای تولید و زمان نگهداری بر ویژگی های جریان پذیری پودر عصاره مالت خشک‌شده به روش پاششی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۶۰-۵۱: (۱) ۱۰.
- رشیدی، ک، مشایخ، م، مرتضویان، ا، امیری، ز. ۱۳۹۴. اثر چربی و ماده خشک بر برخی از ویژگیهای پودر دوغ تولید شده به روش آزمایشگاهی. علوم و صنایع غذایی ایران. ۷۸-۷۱: (۱۲) ۴۸.
- رضوی، س.م.ع، بستان، آ، نیک نیا، س، رزمخواه، س. ۱۳۹۰. بررسی خواص عملکردی عصاره خام هیدروکلوئیدی برخی دانه‌های بومی ایران. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی. (۳) ۲۱.
- حصاری نژاد، م.ع، رضوی، س.م.ع، کوچکی، آ. ۱۳۹۴. مطالعه خواص ویسکوالاستیک و حرارتی صمغ دانه قدومه شیرازی (Alyssum homolocarpum). پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. ۱۲۸-۱۱۶: (۲) ۱۱.
- عبادت‌ن، ح، شریفی، ا، نیاکوثری، م، ۱۳۹۳. بهینه سازی فرایند تولید پودر دوغ با خشک کردن کف پوشی به روش سطح پاسخ، سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان.
- عباسی شیرازی، ن، فرشادفر، ش. ۱۳۸۸. اثر صمغ گوار بر بافت و فراریت اسانس های اضافه شده به دوغ ایرانی. فصلنامه علوم و فناوری غذایی، ۳۹-۳۱: (۱) ۳.
- علی پور، آ، کوچکی، آ، کدخدایی، ر، وریدی، م. ۱۳۹۴. بررسی اثر مخلوط صمغ قدومه شیرازی-پروتئین آب پنیر تغلیظ شده بر پایداری امولسیون روغن ذرت در آب. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. (۱۲) ۴۸.
- کارآموز ن، محمدی ثانی، ع، رشیدی، ح. ۱۳۹۵. تاثیر افزودن هیدروکلوئیدهای ژلان، کتیرا و پکتین با متوکسیل بالا در پایدارسازی دوغ. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. (۱۳) ۵۲.
- قنبرزاده، ب. ۱۳۸۸. مبانی رئولوژی مواد و بیوپلیمرهای غذایی، انتشارات دانشگاه تهران.
- کیانی، ح، ابراهیم زاده موسوی، م.ع، رضوی، ه، یارمند، م. س. و دینی، ع. ۱۳۸۸. اثر منبع و مقدار ماده خشک جامد کل دوغ بدون چربی روی پایداری و خواص رئولوژیک آن. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۵۶-۴۵: (۳) ۱۰.

افزایش پایداری دوغ بازسازی شده از پودر دوغ و موثر بودن استفاده از صمغ قدومه شیرازی بوده است. با توجه به افزایش پایداری، افزایش درجه حلالیت، پخش‌شوندگی و دمای انتقال شیشه‌ای که از عوامل موثر در تولید پودرهای فوری می‌باشند، افزودن این صمغ، موجب بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر دوغ گردید. با توجه به نتایج مذکور و پژوهش‌های اندک در زمینه تولید پودر دوغ، بررسی خصوصیات میکروبی پودر دوغ تولیدی و استفاده از سایر هیدوکلوئیدها جهت بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن مفید خواهد بود.

- میلانی، ا.، هاشمی، ن.، مرتضوی، س.ع.، طباطبایی یزدی، ف.، گازرانی، س. ۱۳۹۷. بهینه سازی فرمولاسیون پودر فوری نوشیدنی بر پایه آرد یافت داده شده کنجاله بادام-ذرت. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*. ۴۹-۴۱: (۲) ۱۳.
- Amiri-Rigi A, Emam-Djomeh Z, Mohammadifar MA, Mohammadi M; 2012. Spray drying of low-phenylalanine skim milk: optimization of process conditions for improving solubility and particle size. *International Journal of Food Science & Technology*. 47(1): 495-503.
- Abbasi, A., Shirazi, N., Farshad far, s. 2009. The effect of guar gum on the texture and volatility of essential oils added to Iranian buttermilk. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 1(3). 31-42.
- Azarikia, F & Abbasi, S., 200۸. On the stabilization mechanism of Doogh by gum tragacanth. *Food Hydrocolloids*, 24(4): 358- 363.
- Banat F, Jumah R, AL-Asheh S, Hammad S. 2002. Effect of operating Parameters on the Spray drying of tomato paste. *Engineering in life sciences*. 2(12): 403-407.
- Benichou, A., Aserin, A., & Garti, N. 2002. Protein-polysaccharide interactions for stabilization of food emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 23: 93-123.
- Chegini G, Ghobadian B. 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences*. 3(2): 230-236.
- Chuy Le, Labuza TP. 1994. Caking and Stickiness of dairy - based Food powder, s as related to *glass transition*. *Journal of Food science*. 59 (1): 43 -46.
- Dickkinson, E., semenova, M. G. and Antipova, A. S. 1998. Salt stability of casein emulsions *Food Hydrocolloid*, 12: 227- 235.
- Ebadati, H.R., Sharifi, A., Niakousar, M. 2016. Optimizing the process of producing doogh powder by drying the flooring by the surface method. *Innovative food technologies*. 8(4). 15-26.
- Foroughi Nia, S., Abbasi, S., and Hamidi Esfahani, Z. 2008. Effect of Individual and Combined Addition of Salep, Tragacanthin and Guar Gums on the Stabilization of Iranian Doogh. *Journal of Nutrition and Food Science*, 2: 15-25. (in Persian).
- Gaiani C, Scher J, Schuck P, Hardy J, Desobry S, Banon S; 2006. The dissolution behavior of native phosphocaseinate as a function of concentration and temperature using a rheological approach. *International Dairy Journal*. 16(12): 1427-1434.
- Ghaderi, A., Abbasi, S., Hamid, Z. 2010. Possibility of producing yogurt powder using microwave-vacuum dryer *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 6(3). 210-222.
- Ghorbani Gorji, E., Mohammadifar M, Ezzatpanah H, Mortazavian A. 2011. Influence of three types of Iranian gum tragacanth on rheological properties and stabilization of fat-free Doogh, an Iranian yoghurt drink. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*; 6 (2): 31-56.
- Hardas N, Danvirivakul, s, Foley J, Nawar W, chinachoti p., 2008. Effect of relative humidity. Rheological approach. *International Dairy Journal*. 16(12): 1427- 1434.
- Hogan SA, Famelar MH, O Callaghan DJ, Schuck P. 2010. A novel technique for determining glass-rubber transition in dairy powder. *Journal of Food Engineering*, 99(1): 76-82.
- Harmayani, E. winari, S, and Nuvismanto, R. 2011. Preparation of Inulin Powder from Dioscorea Esculenta Tuber With foam Mat Drying Method. The 12. Asen Food Conference.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 200۶. Milk and powdered milk products - Measurement of moisture content - Weight measurement method (reference method).. (ISIRI Standard No. 8781).
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 200۶. Pasteurized milk Specifications and test methods pH & Acidity Determination. (ISIRI Standard No. 2852).
- Jafari, S.M., Mahdavi Khazaei, K., Ghorbani, M., Hemati Kakhki, A. 2014. Optimization of anthocyanin extraction saffron, s petal with response surface methodology. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*. 3(1). 37-50
- Jai, J. M. 1990. *Modern Food Microbiology* Chapman and Hill.
- Kailasapathy, k. 2006. survival of free and encapsulated Probiotic bacteria and their effect on the sensory Properties of yoghurt. *LWT*, 39: 1221- 1227.
- Khalilian Movahed, M., Shahidi, F., Varidi, M., Mohebbi, M., Noshad, N. 2015. Optimization of spray drying of pomegranate juice using response surface methodology. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*. 3(2). 129-142.
- Kiani, H., Mousavi, M. E., Razavi, H., and Morris, E. R. 2010. Effect of gellan, alone and in combination with high-methoxy pectin, on the structure and stability of Doogh a yogurt- based Iranian drink. *Food Hydrocolloids*, 24: 744-754.
- Kiani, H., Ebrahimzadeh Mousavi, S.M.A., Razavi, S.H., Yarmand, M.S., Dina, A. 2007. Effect of source and amount of total solids content on the rheological properties and stability of non- fat doogh. *Journal of agriculture engineering research*. 10(3). 45-56.

- Koksoy, A., and Kilic, M. 2004. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, 18: 593-600
- Koocheki, A., mortazavi, s. A. shahidi, F. , Razavi, s. M .A ., kakhodaee, R., 8 Milani, J .2010 . Optimization of Mucilage extraction from Qodume Shirazi seed (*Alyssum homo locarpum*) using response surface methodology. *Jornal of food process Engineering*, 33, 861- 882.
- Koocheki A., Taherian A.R., Razavi S., Bostan A. 2009. Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloids* 23, 2369-2379.
- Kumar, P. and Mishra, H. N. 2004. Yoghurt Powder-A review of Process Technology, storage and utilization. *Food and Bioproducts Processing*, 82(C2):133-142.
- Loreth, C. J.Frith, W. J.Fryer, P. 2006. Mechanical and Structural Properties of Maltodextrin/Agarose Microgels Composites. *Applied Rheology*. Volume 17 • Issue 3.
- Nijdam JJ, Langrish TAG. 2006. The effect of surfact composition on the functional properties of milk powders. *Journal of Food Engineering*. 77(4):919-925.
- Rashidi K, Mashayekh M, Mortazavian A M, Amiri Z. 2015.Effects of fat and dry matter content on some properties of Doogh powder produced in laboratory scale. *Food Science and Technology*. 12 (48) :71-78
- Sadeghi, Z., Ahmadzadeh Ghavidel, R. and Ghiafeh Davoodi, M. 2015. Effect of Guar Gum, Vanilla and Emulsifier (E471) on Physicochemical and Sensory Properties of Drinking Yoghurt Powder. *Int. J. Rev. Life. Sci.* 5(2): 1428-1433
- Sarabandi , K., Sadeghi Mahoonak , A.2016. The effect of inlet air temperature and the amounts of maltodextrin on physicochemical properties of spray dried date palm syrup. *Innovative food technologies*.4(2).10-15
- Sarabandi K, Peighambaroust S H. 2015. Effect of Some Production Parameters and Storage Time on the Flowability Characteristics of Spray-dried Malt Extract Powder. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 10 (1):51-60
- Sekhavatizadeh, S., Sadeghzadehfah. S. 2013. The effect of guar gum as the fat substitute n some sensory and chemical properties of low-fat yogurt. *Innovation in food science and technology*.5:2(16).29-38
- Shah, N. P.,Lankaputhra, W. E. V.,Britz,M.and Kyle,W.S.A.1995.Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* in Commercial yoghurt during refrigerated Storage. *International Dairy Journal*, 5:515-521
- Shahidi, F., Varidi,M., Mohebbi, M., Noshad,N., Khalilian Movahed, M. 2014.Optimization of spray drying of pomegranate juice using response surface methodology. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*. 3(2).129-142.
- Shaker,R.R., Jumah,R.Y.,Tashtoush,B. and Zrai,Y.A.F. 1999.Manufacture of jumeed using a Spray drying Process:a Preliminary study. *International journal of Dairy Technology*, 52:77-80.
- Sharifi , A., Ebadati , H.R., NiakousarI, M.2016. Optimizing the process of producing doogh powder by drying the flooring by the surface method. *Innovative food technologies*. 8 (4).15-26.
- Supavititpatana, P., Wirjantoro, T.I., Apichartsrangkoon, A. & Raviyan, P. 2008. Addition of gelatin enhanced gelatin of corn milk yogurt. *Food Chemistry*, 106(1): 211-216.
- Taheri,P., Ehsan, M. R., Khosravi-Darani K. 2009. Effects of *Lactobacillus acidophilus* La-5 on microbiological characteristics,sensory attributes and phase separation of Iranian Doogh drink during refrigerated storage. *Iranian J. Nutrition Sci. and Food Technol*, 4(3), 15-24.
- Tromp, R H., De Kruif, CG, Van Eijk, M., Rolin, C., (2004).On the mechanism of stabilization of acidified milk drinks by pectin. *Food Hydrocolloids*. 18(4): 565-72.
- Tuinier,R .,E . Grotenhuis, and c.G.de kruif. 2002 .the effect of depolymerized guar gum on the stability of skim milk. *Food Hydrocolbiods*. 14- 17.
- Wal,stra , p. 2003 . Colloidal Interactions. In wdstra peditor.Phys,sical chemistry of foods. New York, marcel Dekker Inc, 437- 476.
- Yeganehzad, S, Zendeboodi,F., Sadeghian ,A. 2018.Production of carbohydrate-protein beverage powder containing date juice by spray drying method: the effect of drying carriers on the physical properties of beverage powder. *Iranian Food Science and Technology*.15(78).43-54.
- Xu, D., Wang, X., Jiang, J., Yuan, F., and Gao, Y. 2012. Impact of whey protein – Beet pectin conjugation on the physicochemical stability of β -carotene emulsions. *Journal of Food Hydrocolloids*, 28(2): 258-266



The effect of *Alyssum homolocarpum* seed gum on physicochemical properties of powdered doogh produced by spray drying method

N. Bazazian¹, A. Arianfar^{2*}

Received: 2020.04.26

Accepted: 2020.11.11

Introduction: Doogh is a fermented milk drink mixed with water and a little salt. The production and exportation of doogh as a native Iranian fermented beverage has grown steadily in recent years. One of the disadvantages that causes corrosion and increases doogh deterioration is the spoilage caused by the activity of molds and yeasts. The common method for increasing shelf life of food (such as doogh) is drying by using spray dryer that eventually lead to reducing the volume, costs of carrying and easy usage. The objective of this study was to produce a doogh powder by spray drying method and investigate the effect of *Alyssum homolocarpum* seed gum on its physicochemical properties.

Material and Methods: In this study, yogurt (1.5% fat), salt, distilled water, maltodextrin (GPC brand), and *Alyssum homolocarpum* seed gum were used. *Alyssum homolocarpum* seed gum was cleaned and the foreign particles were separated. The whole grain gum was extracted using distilled water in a water-to-seed ratio of 30 to 1 with a pH of about 8 and a temperature of 48°C and dried at 70°C in a vacuum oven and then powdered. Brine (7% salt) was prepared with boiled distilled water at 80°C. After dissolution, a certain amount of *Alyssum homolocarpum* seed gum was added (at concentrations of 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2% separately). The solution was stirred for 10 minutes with a magnetic stirrer at 60°C. After complete dissolution, 40g of yogurt (1.5% fat with pH=4.1) was added to gum solution. The final volume of doogh was at 100g. To completely dissolve the particles, a magnetic stirrer with a speed of 2000 rpm for 15 minutes at 60°C was used. The temperature was then reduced to 20°C and the final product was packed in 500 ml bottles. Doogh was dried using a spray dryer in optimal conditions, feed intake flow of 44.5 ml/ min and drying temperature of 190°C. The physicochemical properties of doogh powder such as pH, acidity, moisture content, dry matter, solubility, dispersability, and serum separation as well as glass transition temperature and particle size were determined. Doogh treatments consisted of 0.05, 0.1, 0.15 and 0.2% containing *Alyssum homolocarpum* seed gum and also a control sample. All the experiments were performed in triplicate. The results were analyzed as means± standard deviation (SD). Thus, the data were determined using the software SPSS (2013). Statistical differences were analyzed by variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (P values <0.05).

Results and Discussion: The results showed that by increasing the *Alyssum homolocarpum* seed gum, moisture and serum separation were decreased and acidity, dry matter, solubility, dispersability, particle size and glass transition temperature were increased. With increasing gum concentration from 0.05 to 0.1 and from 0.15 to 0.2%, the acidity increased significantly (P<0.05). The rate of dehydration of samples containing different percentages of gum after three weeks showed that the use of *Alyssum homolocarpum* seed gum significantly reduced serum segregation. The results showed that by increasing the concentration of gum, the particle size of the doogh powder was significantly reduced (p<0.05). With the increase in the amount of gum, the rate of diffusion increased significantly (P<0.05). With increasing gum concentration and decreasing moisture, the glass transfer temperature of the powder samples increased. The control sample had the lowest and the 0.2 gum treatment had the highest glass transfer temperature (P<0.05).

Key words: Doogh powder, Spray dryer, *Alyssum homolocarpum*, physicochemical properties

1 and 2: Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.
(* Corresponding authors Email: a_aria_1443@yahoo.com)



مقاله پژوهشی

ارزیابی کیفی روغن زیتون بکر تولید شده از ارقام مختلف زیتون در منطقه داراب - شیراز

لاله ارجمندفرد^۱ - شهلا شهریاری^{۲*} - مهرداد قوامی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹

چکیده

روغن زیتون سالم‌ترین روغن گیاهی است، از آنجائیکه شرایط اقلیمی، رقم، روش کشت، زمان برداشت و روش فراآوری خصوصیت نهایی روغن زیتون را تعیین می‌کنند، شناخت بهترین نوع زیتون جهت روغن‌کشی ضروری به‌نظر می‌رسد. روغن زیتون بکر حاصل از ارقام آمیگدال، مانزانیلا، آریبکن و مخلوط روغن کشت شده در منطقه داراب فارس واقع در جنوب ایران تهیه و ترکیبات شیمیایی (توکوفرول، اسیدهای چرب و دی‌ان‌های مزدوج) و اندیس اسیدی، عدد یدی و عدد صابونی آن‌ها ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اندیس اسیدی همه این روغن‌ها از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان کدکس و شورای بین‌المللی روغن زیتون بالاتر بودند، که نشان‌دهنده بالاتر بودن فعالیت لیپولیتیکی این ارقام در شهر داراب می‌باشد. بیشترین و کمترین میزان عدد اسیدی (w/w) به‌ترتیب در روغن زیتون رقم آمیگدال (۷/۸۳٪) و آریبکن (۱/۸۳٪) مشاهده شد. عدد یدی در تمام نمونه‌ها در حد مجاز تعریف شده بود. بیشترین و کمترین میزان عدد یدی (g/100g) به‌ترتیب زیتون رقم مانزانیلا (۸۷/۰۶) و آریبکن (۸۱/۶۴۱۲) مشاهده شد. در مورد عدد صابونی تفاوت معنادار در نمونه‌ها مشاهده نشد. نتایج بررسی ترکیبات توکوفرولی نشان داد که آلفاتوکوفرول بیشترین ترکیب در تمام نمونه‌های مورد تحقیق بودند و بعد از آن میزان آلفاتوکوترینول و گاماتوکوفرول از همه ترکیبات بالاتر بود. دلتاتوکوفرول و دلتاتوکوترینول در هیچ‌کدام از نمونه‌های مورد بررسی دیده نشد. بیشترین میزان ترکیبات توکوفرولی در رقم مانزانیلا ۸۸ درصد وزنی بود. طی بررسی ترکیبات اسیدچرب نیز مطابق انتظار اولئیک اسید بالاترین میزان را داشت و از ۶۴/۶۰٪ در روغن رقم مانزانیلا تا روغن اصل از ۵۵/۶۸٪ متغیر بود و پس از آن پالمیتیک، لینولئیک، استئاریک اسید قرار داشتند. بررسی منحنی دی‌ان‌های مزدوج هیچ‌گونه شکستگی را نشان نداد. نتایج ارزیابی ترکیبات حاصل از نمونه‌های روغن زیتون نشان داد که نوع رقم زیتون بر کیفیت و ویژگی‌های روغن زیتون استخراج شده تأثیرگذار است.

واژه‌های کلیدی: روغن زیتون بکر، اسید چرب، توکوفرول، خواص شیمیایی.

مقدمه

صاف کردن و سانتریفوژ (جداسازی) بر روی آن انجام می‌گیرد. روغن زیتون به‌عنوان یک روغن خوراکی منحصر به فرد به دلیل داشتن مقادیر زیادی اسیدچرب غیر اشباع تک زنجیره‌ای، طعم دلپذیر، پایداری خوب و اثرات ویژه سلامتی بخش مورد توجه قرار گرفته است. اسیدچرب اصلی غیراشباعی که در روغن زیتون وجود دارد اسید اولئیک است. روغن زیتون علاوه برداشتن سطح بالایی از اسید چرب اشباع نشده، دارای ترکیبات بیولوژیکی همچون آنتی‌اکسیدان‌ها، ترکیبات فنولی، توکوفرول و رنگدانه‌های طبیعی می‌باشند. ساختار و ویژگی‌های این ترکیبات بیولوژیک فقط در روغن زیتون بکر به‌خوبی حفظ می‌شود. در واقع روغن زیتون بکری که توسط استخراج مکانیکی و بدون اعمال شرایط حرارتی به‌دست آمده باشد (Fiori et al., 2016).

با توجه به اینکه نوع و میزان ترکیبات شیمیایی موجود در روغن زیتون به عواملی نظیر رقم، شرایط اقلیمی و روش استخراج وابسته

زیتون به‌عنوان قدیمی‌ترین و مهمترین محصول زراعی بشر است که روغن آن با روش استخراج مکانیکی از میوه درخت اولئا اروپا^۴ به‌دست می‌آید، که در مقایسه با سایر روغن‌های گیاهی می‌تواند در حالت خام و بدون هیچ فرآیند پالایش مصرف می‌شود (Fares et al., 2016). روغن زیتون حاوی مقدار کمی اسیدچرب اشباع و مقدار زیادی اسیدچرب تک غیراشباع عمدتاً اولئیک اسید است که خطر ابتلاء به بیماری‌های قلبی را با کنترل لیپو پروتئین‌ها، فشار خون، متابولیسم گلوکز و ضدلختگی کاهش می‌دهد (Firestone, 2001). استاندارد ملی ایران روغن زیتون را به چهار نوع تقسیم می‌کند: بکر، نیمه تصفیه، تصفیه شده و گوگردی. روغن زیتون بکر روغنی است که از میوه درخت زیتون و توسط روش‌های مکانیکی در شرایط معین (به‌ویژه دمایی مناسب) استخراج می‌شود. همچنین فقط عملیاتی همچون شستشو،

(* - نویسنده مسئول: Email: shahla_shahriari@yahoo.com)

DOI: 10.22067/iftstr.v17i5.86095

4 Olea Europaea

۱ و ۳ - به‌ترتیب کارشناسی ارشد و استاد، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲ - دانشیار، گروه مهندسی شیمی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

شناسایی و تعیین ترکیب اسیدهای چرب نمونه‌ها

جهت تعیین اسیدهای چرب آماده سازی نمونه به صورت مشتق اتیل استر براساس استاندارد^۱ AOCS به شماره ۹۶۹/۳۳ صورت گرفت. سپس از دستگاه کروماتوگرافی گازی GC (Varian Star 3400, Shimadzu, ژاپن) مجهز به ستون ۸۸ cpsill (Rtx Wax, ژاپن) و آشکارکننده^۲ FID انجام شد. ستون موئین ۱۲۰ متری به قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر پر شده با BPX70 که مطابق استاندارد AOCS با شماره ۱-۹۱ Ce 1e-91 استفاده شد. درجه حرارت ستون ۱۹۸ درجه سانتی گراد، درجه حرارت سانتی گراد، درجه حرارت تزریق ۲۵۰ درجه سانتی گراد، درجه حرارت ستون ۱۹۸ درجه سانتی گراد، سرعت گاز حامل نیتروژن ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه، فشار ۱۰ PSI و مقدار تزریق نمونه یک میکرولیتر بود.

آزمون اندیس اسیدی

اندیس اسیدی طبق روش AOCS (Cd 3d- 40, 1993) تعیین گردید. روش کار آزمایش به این شرح می باشد که: ۲۰ میلی لیتر اتانول و ۲۰ میلی لیتر دی اتیل اتر در یک ارلن مایر ریخته و ۵ قطره معرف فنل فتالئین به آن افزوده شد و خوب مخلوط شدند. سپس ۵ گرم نمونه روغن به آن اضافه گردید. محتویات ارلن با هیدروکسید پتاسیم ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ صورتی کمرنگ که ۱۵ ثانیه پایدار بود، تیترا شد و حجم سود مصرفی یادداشت و از طریق رابطه زیر اندیس اسیدی محاسبه شد:

$$(۱) \quad \text{عدد اسیدی} = \frac{(A-B) \times N \times 56.1}{W}$$

A= حجم سود مصرفی در تیتراسیون نمونه (میلی لیتر)

B= حجم سود مصرفی در تیتراسیون شاهد (میلی لیتر)

N= نرمالیه سود مصرفی

W= وزن نمونه (گرم)

آزمون عدد صابونی

اندیس صابونی بر طبق روش AOCS (Cd 3a-94, 1997) تعیین گردید. اندیس صابونی از روی ترکیب اسید چرب نمونه های روغن ها و چربی ها که به وسیله کروماتوگرافی گازی تعیین شده اند قابل محاسبه است. پس از تعیین ترکیب اسیدهای چرب نمونه ها و درصد آنها مجموع وزن مولکولی اسیدهای چرب تعیین گردید و سپس اندیس صابونی از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$(۲) \quad S.v = \frac{3 \times 56.1 \times 1000}{[(mmwt \times 3) + 92.09] - (3 \times 18)}$$

mmwt= مجموع وزن مولکولی اسیدهای چرب

است لذا امروزه به دلیل اهمیت این پارامترها در کیفیت روغن زیتون، تولیدکنندگان برتر روغن زیتون برای معرفی روغن خود در بازار جهانی مشخصات رقم و محل تولید روغن را ذکر می کنند (et al., 2003). در سال های اخیر تولید روغن زیتون حاصل یک رقم خاص، به دلیل ویژگی های کیفی آن در کشورهای تولیدکننده این محصول گسترش یافته است. ویژگی های کمی و کیفی روغن زیتون تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و همچنین مدیریت باغ نیز قرار دارد. شرایط اقلیمی، رقم، روش کشت، زمان برداشت و روش فرآوری خصوصیت نهایی روغن زیتون را تعیین می کنند و این امکان را ایجاد می کند که محصول مشابه مربوط به مناطق مختلف جغرافیایی را از هم تشخیص داد (Coves et al., 2016). در این راستا Kritioti و همکاران (۲۰۱۸)، نشان دادند که تأثیر منطقه جغرافیایی و منشاء گیاهی تفاوت قابل ملاحظه ای در برخی از متغیرها مثل درصد اسید لینولئیک و درصد اسید اولئیک دارد. همچنین Morrone و همکاران (۲۰۱۸) وابستگی اسیدهای چرب اشباع نشده، وانیلیک اسید و برخی از ویژگی های حسی را به منطقه تولید زیتون نشان دادند. در مطالعه Borges و همکاران (۲۰۱۷) نیز تأثیر منطقه و کشور تولید زیتون بر برخی از پارامترها نشان داده شد. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی خصوصیات شیمیایی و آنالیز اسیدهای چرب روغن زیتون بکر حاصل از ارقام آمیگدال، مانزانایلا، آریکن و مخلوط روغن کشت شده در منطقه داراب شیراز واقع در جنوب ایران انجام شده است.

مواد و روش ها

تهیه روغن زیتون بکر

روغن زیتون بکر تولیدی ارقام آریکن، مانزانایلا، کرونائیکی و آمیگدال از مزرعه بهارلو در شهرستان داراب- شیراز تهیه شد. ابتدا میوه های زیتون تمیز و کاملاً شسته شد. سپس میوه ها به روش سرد توسط آسیاب برقی چرخ شد و عملیات مالش دهی انجام گرفت. در این مرحله خمیر به مدت نیم ساعت در دمای محیط ورز داده شد و به میزان ۲۵ درصد آب با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به خمیر اضافه شد و نمونه حاصل پرس گردید و در انتها توسط سانتریفوژ با دور ۶۰۰۰ روغن زیتون بکر استخراج شد. روغن زیتون بکر مستخرج از ارقام مختلف زیتون در ظروف تیره و دربسته و در دمای چهار درجه سانتی گراد در یخچال نگهداری شد و آنالیزها و بررسی های آزمایشگاهی به مدت حداکثر ده روز روی هریک از نمونه ها در آزمایشگاه رازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات- تهران انجام پذیرفت. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شد.

۵۶/۱ = وزن مولکولی هیدروکسید پتاسیم
۹۲/۰۹ = وزن مولکولی گلیسرول

اندیس یدی

اجزا و درصد اسیدهای چرب موجود در نمونه روغن زیتون به وسیله کروماتوگرافی گازی تعیین شده بودند بنابراین اندیس یدی نمونه های روغن ها براساس استاندارد AOCS به شماره Cd 1C-85 سال ۱۹۹۷ با رابطه زیر تعیین شد.

$$IV = (\%C16:1 \times 0.950) + (\%C18:1 \times 0.860) + (\%C22:1 \times 0.723) + (\%C18:3 \times 0.785) \quad (3)$$

C16:1: پالمیتوئیک اسید

C18:1: اولئیک اسید

C18:2: لینولئیک اسید

C18:3: لینولنیک اسید

شناسایی و تعیین مقدار توکوفرول ها

شناسایی و تعیین مقدار توکوفرول های استخراج شده از روغن به وسیله کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) Younglin Acme 9000 (کره جنوبی) مطابق استاندارد AOCS به شماره Ce8-89 انجام گرفت. حدود ۲ گرم نمونه روغن زیتون در داخل یک بالن ژوژه ۲۵ میلی لیتری با هگزان به حجم رسانیده شد. نمونه آماده شده دور از نور نگهداری شد و در همان روز مورد آزمون قرار گرفت. به طوری که مقدار ۲۰ میکرولیتر از نمونه به دستگاه تزریق گردید.

شناسایی و تعیین مقدار استرول ها

شناسایی استرول های استخراج گشته از روغن بر اساس استاندارد AOCS به شماره ۹۷۰/۵۱ انجام شد. اندازه گیری استرول ها از طریق جدا کردن ترکیبات صابونی و سپس جداسازی گروه های مختلف تشکیل دهنده غیرصابونی و نهایتاً تزریق استرول های جدا شده به دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارکننده شعله ای با ستون موئین ۳۰ متری HP5 با قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و دمای ستون ۲۵۰ درجه سانتی گراد و درجه حرارت آشکارکننده ۲۸۰ درجه سانتی گراد و میزان تزریق ۱ میکرولیتر انجام شد.

اندازه گیری ترکیبات دارای پیوند مزدوج دوگانه

وجود دیان های مزدوج در چربی ها نشان دهنده اکسایش روغن است که عواملی همچون نور، اکسیژن، دما و هوا هریک به تنهایی در این فرآیند تاثیرگذار هستند. روش دیان مزدوج در مقایسه با تعیین شاخص پراکسید ساده تر، آسان تر و به مقدار نمونه کمتر روغن نیاز دارد و همچنین مستقل از واکنش های شیمیایی یا توسعه رنگ است. میزان

جذب نمونه نمونه رقیق شده (یازده قطره نمونه روغن در ۵۰ میلی لیتر ایزو اکتان) مطابق روش دکتر قوامی و همکاران با کمی اصلاحات در اسپکتوفتومتر UV-Vis (MiltonRoy، آمریکا) در طول موج ۲۳۴ نانومتر انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

جهت تجزیه و تحلیل داده های حاصل از تحقیق، از طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. میانگین ها با استفاده از نرم افزار سیگما پلات نسخه ۱۱ و در سطح احتمال ۵ درصد ($p < 0.05$) انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Microsoft Excel, 2007 استفاده شد.

نتایج و بحث

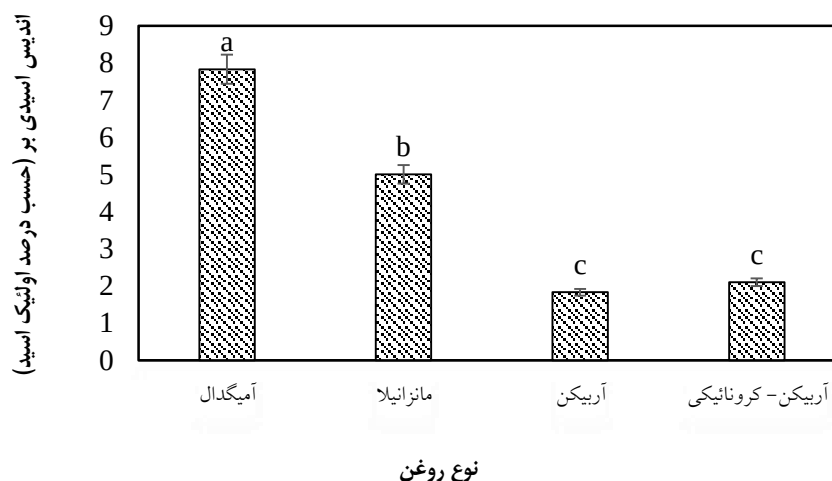
روغن زیتون یکی از با ارزش ترین روغن های گیاهی است و شرایط اقلیمی، رقم، روش کشت، زمان برداشت و روش فرآوری خصوصیت نهایی روغن زیتون را تعیین می کنند. بنابراین روغن زیتون بکر حاصل از ارقام مختلف زیتون همچون آمیگدال، مانزانیلا، آرییکن و مخلوط روغن آرییکن - کروناپیکی (با درصدهای وزنی مساوی) در منطقه داراب استان فارس تهیه و بر روی آن آنالیزهای آزمایشگاهی همچون اندیس اسیدی، ترکیبات شیمیایی (توکوفرول، اسیدهای چرب و دیان های مزدوج)، عدد یدی و عدد صابونی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین در این تحقیق در نظر گرفته شد که به هدف بررسی امکان بهبود ویژگی های کیفی و دستیابی به درصد بالاتر اسیدهای چرب در روغن بکر رقم آرییکن با روغن بکر رقم کروناپیکی با درصد مساوی مخلوط شد. در مرحله بعدی ویژگی های کیفی مخلوط روغن مورد ارزیابی و مقایسه با سایر نمونه ها قرار گرفت.

بررسی اندیس اسیدی نمونه های روغن

شکل ۱ عدد اسیدی روغن های مورد مطالعه در این تحقیق را نشان داده است همانطور که در نمودار آمده است بین تیمارهای مختلف از لحاظ عدد اسیدی تفاوت معناداری وجود دارد ($p < 0.05$). بیشترین و کمترین میزان عدد اسیدی به ترتیب در روغن زیتون رقم آمیگدال و آرییکن - کروناپیکی مشاهده شد.

هیدرولیز تری گلیسیریدها به واسطه آنزیم های لیپولیتیک (لیپازها) منجر به تولید مونو و دی آسید گلیسرول و اسیدهای چرب آزاد می شود. فرآورده های حاصل از واکنش لیپولیتیک فاقد بو و مزه هستند و بنابراین باعث ایجاد نقص در ویژگی های حسی نمی شوند (Peri, 2014). زمانی که زیتون به واسطه عمل مکانیکی صدمه می بیند لیپازی که در برخی واکوئل های سلول های گوشت و یا هسته زیتون وجود دارد با روغن تماس پیدا می کنند. واکنش با افزایش دما تشدید شده و تابعی از زمان

استاندارد کدکس و شورای بین المللی زیتون (IOC^۱) برای روغن زیتون فوق بکر ۰/۸ گرم درصد گرم روغن و روغن زیتون بکر درجه یک مقدار ۲ گرم درصد گرم روغن می باشد. نتایج نشان داد این میزان در تمامی نمونه ها مورد تحقیق به جز رقم آریبکن (۱/۸٪) بالاتر از حد مجاز تعیین شده بود. نوع رقم زیتون، شرایط محل کاشت و شرایط نگهداری زیتون پس از برداشت از پارامترهای موثر بر اسیدیته روغن زیتون هستند. همپور و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که اسیدیته روغن زیتون رقم روغنی در دو منطقه گیلوان و فدک اسیدیته بیشتر از حد مجاز تعیین شده داشتند که مطابق با نتایج این تحقیق بود.

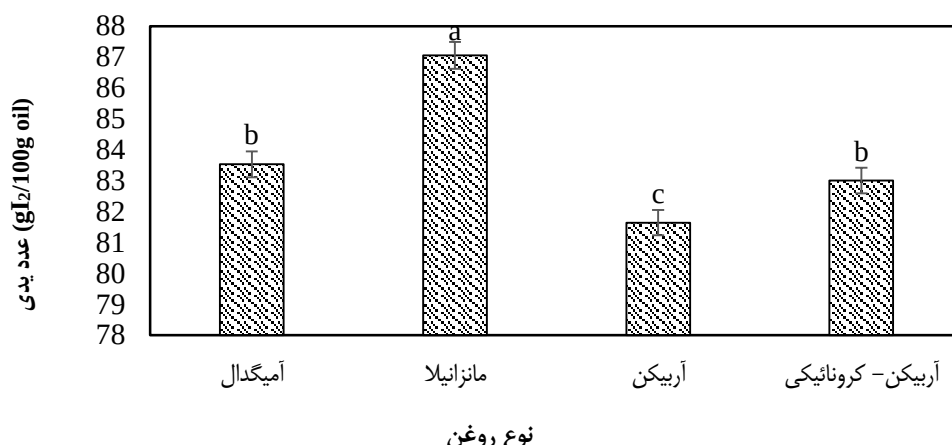


شکل ۱- مقادیر عدد اسیدی روغن تولید شده از ارقام مختلف زیتون
حروف لاتین متفاوت بر روی هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار آماری می باشد.

($p > 0.05$) در مجموع تمام نتایج مطابق با استاندارد کدکس بود. عدد یدی بالاتر به معنی درجه غیراشباعیت بیشتر است که تیر پائین تری خواهد داشت. عدد یدی تا حد زیادی در بیشتر چربی ها و روغن ها به میزان پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک اسید بستگی دارد. اندیس یدی و نقطه ذوب رابطه معکوس دارند هرچه روغن غیر اشباع تر باشد اندیس یدی بیشتر می شود. همچنین فساد چربی در اثر اکسیداسیون با اندیس یدی ارتباط مستقیم دارد، چون هرچه باند دوگانه بیشتر باشد اندیس یدی بیشتر می شود و در نتیجه فساد بیشتر می شود، به دلیل اینکه اکسیژن بیشتری می تواند به باند دوگانه متصل شود (قوامی و همکاران، ۱۳۸۷). همپور و همکاران (۱۳۹۳)، طی بررسی دو رقم روغنی و زرد شیراز و کازرون نشان دادند که عدد یدی در رقم روغنی هر دو منطقه بالاتر بود، و میزان اولئیک اسید در رقم روغنی زرد شیراز بالاتر بود در نتیجه عدد یدی بالاتر داشت.

بررسی عدد یدی نمونه های روغن

شکل ۲ عدد یدی نمونه های روغن را نشان می دهد بیشترین و کمترین میزان عدد یدی به ترتیب زیتون رقم مانزانیلا و آریبکن مشاهده شد ($p < 0.05$). تفاوت معنادار در نمونه آمیگدال و مخلوط روغن زیتون (آریبکن - کرونائیکی) مشاهده نشد ($p > 0.05$). عدد یدی نشانگر میزان غیر اشباعیت یک روغن می باشد. چربی های غیر اشباع مانند سایر ترکیبات غیر اشباع در محل پیوندهای دوگانه با ید باند می شوند و ترکیب اضافی تولید می کنند، بنابراین عدد یدی می تواند میزان اشباعی یا غیر اشباعی چربی ها را مشخص کند. مطابق استاندارد کدکس اندیس یدی روغن زیتون بین ۷۵ تا ۹۴ باید باشد (Codex, 2003). در نتایج این تحقیق، بیشترین و کمترین میزان عدد یدی به ترتیب در روغن زیتون رقم مانزانیلا (۸۷/۰۶) و آریبکن (۸۱/۶۴) مشاهده شد ($p < 0.05$). عدد یدی در نمونه آمیگدال و مخلوط روغن زیتون (به ترتیب ۸۳/۵۳ و ۸۳/۰۱) تفاوت معنادار مشاهده نشد



شکل ۲- بررسی میانگین عدد یدی روغن تولید شده از ارقام مختلف زیتون
حروف لاتین متفاوت بر روی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آماری می‌باشد.

و پایداری روغن دارای فواید بیولوژیکی مانند کنترل رادیکال‌های آزاد می‌باشند.

در جدول ۱ میزان ترکیبات توکوفرولی در انواع روغن زیتون را نشان داده شده است. بیشترین میزان ترکیب کل توکوفرولی معادل با ۴۱۸/۸۴ ppm در روغن زیتون نوع آربیکن بود. در هیچ کدام از نمونه‌ها دلتاتوکوفرول و دلتاتوکوتریانول مشاهده نشد. توکوفرول‌ها و توکوتریانول‌ها، که جزء گروه‌های آبدوست هستند، توسط ساختار حلقوی ۶- کرومانول، متیله شده تا مقادیر متفاوت در موقعیت‌های ۵، ۷ و ۸ با یک زنجیره جانبی از واحدهای ترپن متصل به C2 مشخص می‌شوند. توکوفرول‌ها و توکوتریانول‌ها عمدتاً به ترکیبات ویژه‌ای که توسط حروف پیشوند یونانی α , β , γ , δ برگزیده شده‌اند. بسته به تعداد و موقعیت استخلاف متیل در حلقه کرومانول دسته‌بندی می‌شوند. آلفاتوکوفرول به‌عنوان آنتی‌اکسیدان اصلی روغن زیتون در نظر گرفته می‌شود و مقدار آن از چند تا ۳۰۰ ppm متغیر است (Blekas et al., 2003). توکوفرول‌ها ترکیبات فراسودمند و عملگرایی مواد غذایی هستند که می‌توانند خطر بروز بیماری‌ها را کاهش دهد. اصلی‌ترین عملکرد آلفاتوکوفرول، نقش آنتی‌اکسیدانی آن یعنی شکستن زنجیره رادیکال در بافت‌های لیپوپروتئین‌ها و غذاها است در نتیجه باعث افزایش پایداری حرارتی و اکسیداتیو و نیز زمان ماندگاری روغن زیتون می‌شوند (Moreau et al., 2003). اگرچه آلفاتوکوفرول، فراوان‌ترین توکوفرول‌هاست، اما از دیدگاه تکنولوژیکی و تغذیه‌ای تعیین مقدار سایر انواع توکوفرول‌ها نیز اهمیت دارد. گزارش شده است گاماتوکوفرول نسبت به آلفاتوکوفرول در کاهش تجمع پلاکت، ضداکسیداسیون لیپوپروتئین‌ها با دانسیته پایین تأخیر در تشکیل ترومبوز داخل شریانی و حفاظت در برابر رادیکال‌های، مضر مانند پراکسی نیتريت بسیار مؤثرتر است (Saldeen and Mehta, 1999). عوامل مختلفی می‌تواند

بررسی عدد صابونی نمونه‌های روغن

عدد صابونی نمایانگر وزن مولکولی نسبی تری‌گلیسیریدهای روغن است. در واقع عدد صابونی عبارت است از میلی‌گرم پتاس (KOH) مورد نیاز جهت هیدرولیز یا صابونی کردن یک گرم از نمونه مورد آزمایش و با کمک آن میتوان روغن‌ها را شناسایی کرد. محدوده عدد صابونی طبق استاندارد کدکس بین ۱۸۴ تا ۱۹۶ mg KOH برای هر گرم روغن می‌باشد. با توجه به شکل ۳ تفاوت معناداری در عدد صابونی نمونه روغن‌های مورد آزمایش مشاهده شد ($p < 0.05$).

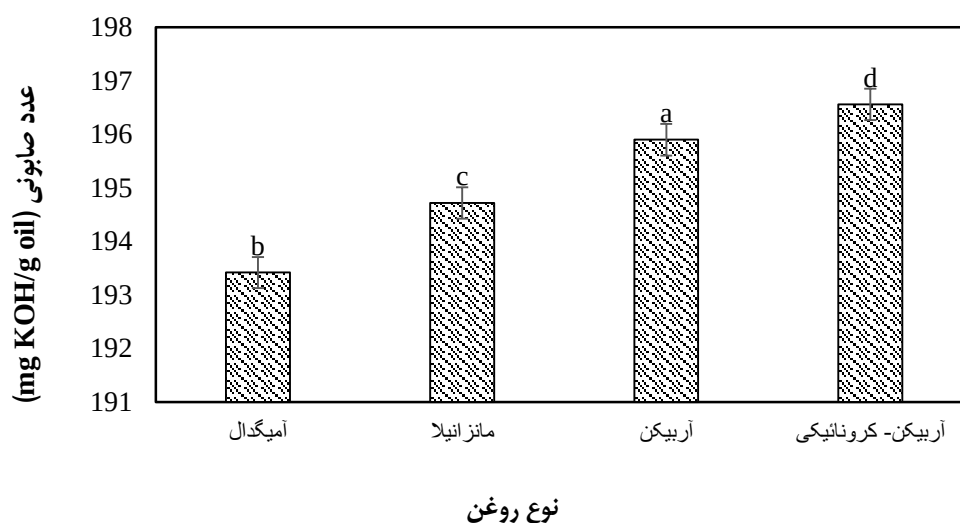
عدد صابونی روغن زیتون به‌دست آمده از آمیگدال، رقم‌های مانزانیلا و آربیکن در محدوده استاندارد و با تفاوت معنادار از لحاظ آماری (به ترتیب برابر ۱۹۳/۴۲، ۱۹۴/۷۲ و ۱۹۵/۹ mg KOH) بود ($p < 0.05$). مواد غیرقابل صابونی ترکیباتی هستند که با وجود مقادیر کم، بر روی خواص حسی روغن زیتون بسیار مؤثر هستند. هر قدر عدد صابونی بالاتر باشد نشان‌دهنده نسبت بیشتر اسیدهای چرب با وزن مولکولی پایین (اسید چرب با زنجیر کوتاه‌تر) در ترکیب روغن است. محققان ایرانی میزان عدد صابونی در رقم زرد شیراز و کازرون به ترتیب ۱۹۶/۴۷ و ۱۹۴/۵۹ mg KOH و کازرون به ترتیب ۱۹۴/۵۹ و ۱۸۸/۹۴ mg KOH اعلام کردند (همایون و همکاران، ۱۳۹۳).

بررسی ترکیبات توکوفرولی نمونه‌های روغن

روغن‌های زیتون بکر شامل مقادیر زیادی ترکیبات فنلی و توکوفرولی می‌باشند که بر روی طعم و پایداری آن تأثیر زیادی دارند. همچنین توکوفرول‌ها از ترکیبات مهم در روغن زیتون هستند که خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ویتامینی داشته که علاوه بر افزایش مقاومت

میزان ۲۵۸/۰۱، ۳۷۲/۵، ۲۲۰/۳۱ و ۲۰۱/۱۳ ppm روغن زیتون بود. بتاتوکوفرول و بتاتوکوترینول در روغن آمیگدال در مقایسه با سایر روغن‌ها کمترین مقدار بود. در دو رقم آریبکن و مخلوط روغن بتاتوکوفرول و بعد از آن گاماتوکوترینول میزان (به ترتیب ۲/۴۳، ۱/۳۷ و ۶/۶۷ و ۲/۹۹ ppm) این ترکیبات بودند. در هیچ کدام از نمونه‌ها دلتاتوکوفرول و دلتاتوکوترینول مشاهده نشد. محققان ایرانی میزان درصد توکوفرول را در روغن زیتون رقم ماری (۱۲۶/۱۱۲ ppm)، رقم شنگه (۷۵ ppm)، رقم روغنی (۷۲/۹ ppm)، رقم کنسروالیا (۱۲/۳ ppm) و رقم زرد (۱۲/۳ ppm) گزارش دادند (فرهنگ دوست و همکاران، ۱۳۹۲).

در میزان و ترکیب توکوفرول روغن زیتون تأثیر بگذارد. نتایج بررسی تأثیر فرآیند رسیدن و سال زراعی در میزان توکوفرول‌های روغن زیتون بکر نشان داده است که میزان آلفاتوکوفرول و بتاتوکوفرول در طول رسیدن کاهش می‌یابد. دمای عملیاتی فرآیند استخراج روغن زیتون عامل مهمی در میزان آلفاتوکوفرول است. نتایج نشان داده است که میزان آلفاتوکوفرول در روغن زیتون با افزایش دمای آسیاب در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (Del Caro et al., 2002; Gimeno et al., 2006). همانطور که انتظار می‌رفت میزان آلفاتوکوفرول در تمامی روغن‌های زیتون مورد بررسی بالاتر بود این میزان در انواع روغن (مخلوط، آریبکن، مانزانیلا و آمیگدال) به ترتیب با



شکل ۳- بررسی میانگین عدد صابونی روغن تولید شده از ارقام مختلف زیتون
حروف لاتین متفاوت بر روی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آماری می‌باشد.

جدول ۱- میانگین ترکیبات توکوفرول (ppm) در انواع روغن زیتون

ترکیبات توکوفرولی	روغن آمیگدال	روغن آریبکن	روغن مانزانیلا	مخلوط (آریبکن و کرونائیکی)
آلفا توکوفرول	۲۰۱/۱۳± ۰/۰۸ ^d	۳۷۲/۵± ۰/۰۸ ^b	۲۲۰/۳۱± ۰/۰۸ ^c	۲۵۸/۰۱± ۰/۰۸ ^a
بتا توکوفرول	۱/۱۲± ۰/۰۳ ^a	۲/۴۳± ۰/۰۴ ^b	۲/۰۰± ۰/۰۴ ^b	۱/۳۷± ۰/۰۳ ^a
گاماتوکوفرول	۵/۷۲± ۰/۰۶ ^c	۱۱/۰۳± ۰/۰۸ ^a	۸/۴۳± ۰/۰۷ ^b	۱۰/۲۷± ۰/۰۸ ^a
دلتا توکوفرول	Trace<1%	Trace<1%	Trace<1%	Trace<1%
آلفا توکوترینول	۲۴/۸۲± ۰/۰۹ ^b	۲۳/۸۹± ۰/۰۸ ^b	۱۱/۴۲± ۰/۰۸ ^c	۱۷/۲۲± ۰/۰۷ ^a
بتا توکوترینول	۰/۷۹± ۰/۰۲ ^b	۲/۴۳± ۰/۰۴ ^a	۲/۵۲± ۰/۰۵ ^a	۲/۷۱± ۰/۰۵ ^a
گاما توکوترینول	۴/۵۲± ۰/۰۵ ^c	۶/۵۶± ۰/۰۷ ^b	۲/۸۳± ۰/۰۶ ^a	۲/۹۹± ۰/۰۶ ^a
دلتا توکوترینول	Trace<1%	Trace<1%	Trace<1%	Trace<1%
توکوفرول کل	۲۳۸/۱۰± ۰/۰۹ ^d	۴۱۸/۸۴± ۰/۰۹ ^b	۲۴۷/۵۱± ۰/۰۹ ^c	۲۹۷/۲۵± ۰/۰۹ ^a

کمیت‌های مشترک در هر ردیف از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بررسی ترکیب اسیدچرب نمونه‌های روغن

جدول ۲ در صد اسیدهای چرب در انواع روغن (آمیگدال، مانزانیلا، آریکن و مخلوط) را نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده است اولئیک اسید بالاترین میزان درصد را در تمام نمونه‌های روغن به ترتیب ۶۵/۱۴، ۶۰/۶۴، ۶۵/۵۴ و ۶۸/۵۵٪ داشت. کمترین درصد ترکیب اسیدچرب در نمونه آمیگدال و مخلوط مربوط به پالمیتیک (۱/۶۴ و ۱/۳۴٪)، در نمونه‌های مانزانیلا و آریکن لینولئیک اسید (به ترتیب ۰/۰۸۸ و ۰/۰۴۴٪) بود.

طی بررسی درصد ترکیبات اسیدچرب، مطابق انتظار، اولئیک اسید فراوان‌ترین اسیدچرب اندازه‌گیری شده در تمام ارقام زیتون بود. بر اساس نتایج حاصل بین نمونه‌ها از لحاظ آماری اختلاف معنادار وجود داشت ($p < 0.05$). این میزان در انواع روغن (آمیگدال، مانزانیلا، آریکن و مخلوط) به ترتیب ۶۵/۱۴، ۶۰/۶۴، ۶۵/۵۴ و ۶۸/۵۵٪ گزارش شد. اولئیک اسید فراوان‌ترین اسید چرب تک غیراشباعی موجود در طبیعت است. این اسیدچرب از لحاظ تغذیه‌ای اهمیت زیادی دارد زیرا ثابت شده که این اسیدچرب ویژگی‌های بیولوژیکی بسیار مهمی دارد که از آن جمله می‌توان به کاهش فشارخون، کاهش احتمال ابتلا به گرفتگی رگ‌های قلبی، کاهش مقادیر لیپوپروتئین با دانسیته پایین (LDL) و در عین حال افزایش لیپوپروتئین با دانسیته بالا (HDL)، کاهش ریسک سرطان به‌ویژه سرطان سینه و کاهش احتمال بروز آسم اشاره کرد. ضمن اینکه این اسید رب نقش مهمی در افزایش مقاومت اکسیداتیو روغن‌ها دارد (Aguilera et al., 2005; Aparicio et al., 1999; Gutierrez et al., 1999). بالاتر بودن این اسید رب یک پارامتر مثبت در ارزیابی کیفی روغن زیتون می‌باشد. برحسب محتوای اولئیک اسید ارقام زیتون به سه دسته ارقام کم اولئیک با محتوای اولئیک اسید کمتر از ۵۵٪، ارقام اولئیک سید متوسط با محتوای اولئیک اسید بین ۵۵-۶۵٪ و ارقام اولئیک بالا با محتوای اولئیک اسید بالاتر از ۶۵٪ تقسیم می‌شوند (Rondonini et al., 2001). بر این اساس روغن‌های زیتون رقم آمیگدال، مانزانیلا و آریکن جزء گروه متوسط اولئیک اسید و روغن زیتون مختلط جزء گروه با درصد اولئیک بالا طبقه‌بندی می‌شوند.

پالمیتیک اسید کمترین درصد ترکیب اسیدچرب در نمونه‌های روغن آمیگدال و مخلوط (به ترتیب با میزان ۱/۶۴ و ۱/۳۴٪) بود. پالمیتولئیک اسید، اسید چرب شانزده کربنه تک غیراشباعی از نوع n-9 می‌باشد. این اسید چرب در تمام بافت‌های بدن یافت می‌شود اما در غلظت‌های بالا در کبد وجود دارد این اسید چرب از عمل آنزیم دلتا ۹-دسچوراز روی پالمیتیک اسید به‌وجود می‌آید. از اثرات مفید این اسیدچرب افزایش حساسیت سلول‌ها به انسولین و ممانعت از تخریب سلول‌های بتای پانکراتیک تولید کننده انسولین می‌باشد (Yang et al., 2011). مقادیر مجاز این اسیدچرب طبق استاندارد شورای بین‌المللی زیتون بین ۳/۵-۰/۳٪ قرار دارد (IOOC, 2012). با وجود

داشتن اختلاف معنادار آماری تمام نمونه‌ها در حد مجاز استاندارد قرار داشتند. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش‌ها پیشین مطابقت می‌کند (Rondanini et al., 2011; Matos et al., 2000). استتاریک اسید، اسیدچرب اشباع ۱۸ کربن‌های که پس از پالمیتیک اسید فراوان‌ترین اسیدچرب اشباع در طبیعت و نیز در روغن زیتون می‌باشد. این اسیدچرب هم در بافت‌های حیوانی و هم در منابع گیاهی یافت می‌شود اما میزان آن در بافت چرب حیوانی تا حدود ۳۰٪ می‌رسد در حالی‌که در روغن‌های نباتی مقدار آن عموماً کمتر از ۵٪ می‌باشد (Beare-Roger et al., 2001). محدوده مجاز این اسیدچرب در روغن زیتون طبق استانداردهای کدکس، شورای بین‌المللی روغن زیتون بین ۵-۰/۵٪ می‌باشد. مقدار این اسیدچرب در تمام نمونه‌های مورد بررسی در حد مجاز بود. مقادیر این اسیدچرب در محدوده صفر در روغن زیتون مخلوط تا ۲/۶٪ در رقم مانزانیلا قرار داشت. نتایج به‌دست آمده مشابه یافته‌های پژوهشگران دیگر می‌باشد (Rondanini et al., 2011). سایر پژوهشگران ایرانی مقدار این اسیدچرب را در ارقام مشابه به‌عنوان مثال در رقم زرد ۲/۶۲٪ و آریکن ۱/۷۱٪ در منطقه رودبار توسط Hashempour و همکاران (۲۰۱۰) و در رقم روغنی ۲/۳۲٪ و ماری ۲/۴۹٪ در منطقه کازرون توسط هاشم‌پور و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند.

لینولئیک اسید، نیز اسیدچرب ۱۸ کربنه دو غیراشباعی می‌باشد که ساختار n-6 دارد و به این ترتیب جزء اسیدهای چرب ضروری طبقه‌بندی می‌شود که بدن قادر به سنتز آنها نمی‌باشد. این اسیدچرب در بدن پیش‌ساز سنتز آراشیدونیک اسید و در نتیجه پیش‌ساز سنتز پروستاگلاندین‌ها می‌باشد. مقادیر مجاز این اسیدچرب در روغن زیتون بکر طبق استاندارد شورای بین‌المللی زیتون در حدود ۲۱-۵/۳٪ گزارش شده است. مقدار این اسیدچرب در تمام نمونه‌های مورد بررسی در حد مجاز بود. مقادیر این اسیدچرب در محدوده ۱۷/۱۲٪ در روغن زیتون رقم آریکن تا ۱۹/۴۷٪ در رقم مانزانیلا قرار داشت. نتایج به‌دست آمده مطابق با نتایج پژوهشگران دیگر بود (Dabbou et al., 2009; Dag et al., 2010). مقدار این اسیدچرب را در ارقام مشابه به‌عنوان مثال در رقم زرد ۱۵/۴۲٪ و ماری ۱۵/۴۱٪ در منطقه رودبار توسط Kharazi و همکاران (۲۰۱۲) و در رقم روغنی ۱۲/۱۴٪ در منطقه رودبار توسط Najafzadeh و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شد. با توجه به محتوای بررسی اولئیک و لینولئیک اسید نشان می‌دهد که همواره رابطه‌ای عکس بین محتوای اولئیک اسید و لینولئیک اسید وجود دارد. ضمن اینکه با پیشرفت دوره رسیدگی همزمان با کاهش اولئیک اسید محتوای لینولئیک اسید افزایش می‌یابد (Gutierrez et al., 1999; Dag et al., 2011). در رقم آمیگدال لینولئیک اسید و در رقم مخلوط (آریکن - کروناکی) استتاریک و لینولئیک اسید مشاهده نشد.

جدول ۲- پروفایل اسید چرب (درصد وزنی/ وزنی) در انواع روغن زیتون

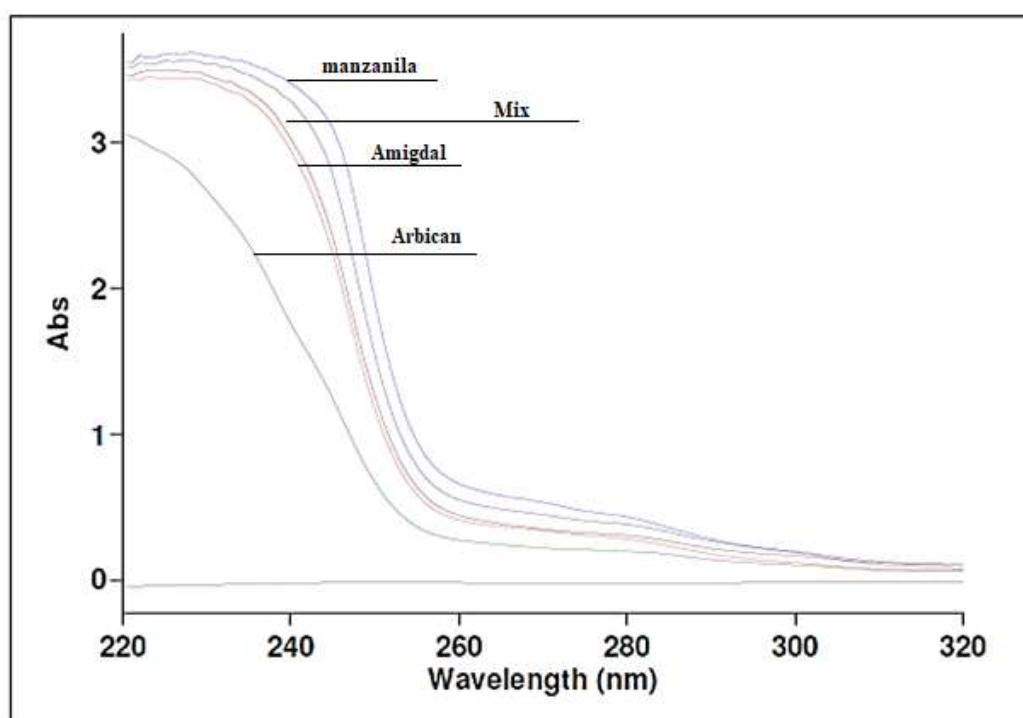
اسید چرب	روغن آمیگدال	روغن مانزانایلا	روغن آرییکن	مخلوط (آرییکن و کرونائیکی)
C16:0	۱۵/۳۸± ۰/۰۰۲ ^a	۱۵/۲۳± ۰/۰۰۲ ^a	۱۵/۶۷± ۰/۰۰۲ ^a	۱۵/۰۹± ۰/۰۰۲ ^a
C16:1	۱/۰۶۴± ۰/۰۰۲۶ ^a	۱/۱۵± ۰/۰۰۲ ^a	۱/۶۶± ۰/۰۰۲ ^a	۱/۳۰۴± ۰/۰۰۳ ^a
C18:0	۲/۱۳± ۰/۰۰۲۰ ^a	۲/۶± ۰/۰۰۲ ^a	۲/۵۶± ۰/۰۰۲ ^a	Trace< 0/1%
C18:1c	۶۵/۱۴± ۰/۰۰۳ ^a	۶۰/۶۴± ۰/۰۰۳ ^b	۶۵/۵۴± ۰/۰۰۳ ^a	۶۸/۵۵± ۰/۰۰۳ ^c
C18:2c	۱۵/۱۶± ۰/۰۰۳ ^a	۱۹/۴۷± ۰/۰۰۲ ^b	۱۲/۱۷± ۰/۰۰۲ ^c	۱۳/۲۲± ۰/۰۰۳ ^a
C18:3c	Trace< 0/1%	۰/۰۸۸± ۰/۰۰۲ ^b	۱/۰۴۴± ۰/۰۰۳ ^c	Trace< 0/1%
سایر اسیدهای چرب	۰/۰۰۹± ۰/۰۰۲۲۷ ^a	۰/۰۸۰۹± ۰/۰۰۳۰ ^b	۱/۳۵۴± ۰/۰۰۱۰ ^c	۱/۷۹۴± ۰/۰۰۱۰ ^c

کمیت‌های مشترک در هر ردیف از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری ترکیبات دی‌ان مزدوج

روغن زیتون در برابر نور، اکسیژن، دما و هوا با ایجاد ذره‌های فتواکسید توانایی بیشتر و سریع‌تری در مقابل فساد دارد. از طرفی پذیرفته شده است که وجود دی‌ان‌های مزدوج در چربی‌ها نشان‌دهنده اکسایش روغن است. نمونه‌های حاوی اسیدهای چرب غیراشباع با حداقل دو باند دوگانه توانایی تشکیل دی‌ان‌های مزدوج را دارند و

مهمترین اسیدچرب غیراشباع در این گروه که در روغن زیتون نیز موجود است اسید لینولئیک می‌باشد. ترکیبات دی‌ان مزدوج در اثر جابه جایی پیوندهای دوگانه به هنگام اکسایش اسیدهای چرب غیراشباع تولید می‌شوند. اسیدهای دی‌ان مزدوج را می‌توان با اندازه‌گیری میزان جذب در ناحیه فرابنفش با طول موج ۲۳۴ نانومتر اندازه‌گیری کرد.



شکل ۴ - بررسی دی‌ان‌های مزدوج نمونه‌های روغن زیتون

تبدیل می‌شوند. شکل ۴ میزان جذب نمونه‌های روغن زیتون رقم آمیگدال (الف)، مانزانایلا (ب)، آرییکن (ج) و مخلوط (د) در محدوده طول موج‌های ۲۲۰ تا ۳۲۰ nm نشان داده که با توجه به نمودار رسم

درصد این ترکیبات با پیشرفت اکسایش ابتدا زیاد می‌شود و بعد از آن روند تقریباً ثابتی می‌گیرد و در مراحل پیشرفته اکسایش مطابق واکنش دیلز-آلدر به ترکیبات پلیمری و محصولات ثانویه اکسایش

اسیدی همگی این روغن‌ها با وجود داشتن اختلاف معنادار آماری از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان کدکس و شورای بین‌المللی روغن زیتون بالاتر بودند، که نشان‌دهنده بالاتر بودن فعالیت لیپولیتیکی این ارقام در شهر داراب می‌باشد. اندیس یدی همگی این روغن‌ها با وجود داشتن اختلاف معنادار آماری در حد مجاز تعیین شده توسط سازمان کدکس و شورای بین‌المللی روغن زیتون بودند. عدد صابونی روغن زیتون به‌دست آمده از رقم‌های آمیگدال، مانزانیلا و آریبکن در محدوده استاندارد بود ولی این اندیس در مخلوط روغن‌ها بالاتر از حد مجاز بود. آلفاتوکوفرول بیشترین ترکیب توکوفرول در تمام نمونه‌های مورد تحقیق بودند و بعد از آن میزان آلفاتوکوترینول و گاماتوکوفرول از همه ترکیبات بالاتر بود. دلتاتوکوفرول و دلتاتوکوترینول در هیچ کدام از نمونه‌های مورد بررسی دیده نشد.

شده این ارقام همگی روغن زیتون بکر بودند. با توجه به جذب نمونه‌های روغن زیتون مورد تحقیق در طول موج ۳۲۰ تا ۳۲۰ nm نشان داده شده در شکل ۴، در نمودارها شکستگی دیده نمی‌شود و نشان‌دهنده این است که ترکیبات ثانویه اکسایش که سبب عطر و طعم تند در روغن هستند حاصل نشده است و در نتیجه می‌توان بیان کرد که تمامی ارقام مورد بررسی بکر بودند علت این امر به دلیل عدم حضور اسیدهای چرب چندغیراشباعی در روغن زیتون است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر بررسی بر روی روغن زیتون بکر حاصل از ارقام آمیگدال، مانزانیلا، آریبکن و مخلوط روغن کشت شده در منطقه داراب شیراز واقع در جنوب ایران انجام شد. مطابق نتایج به‌دست آمده اندیس

منابع

- فرهنگ دوست، ز.، اسدالهی، س. و زینانلو، ع.ا. (۱۳۹۳). ارزیابی و مقایسه ویژگی‌های شیمیایی روغن زیتون در ارقام زرد، روغنی، شنگه، کنسروالیا و ماری. نوآوری در علوم و فناوری غذایی (علوم و فناوری غذایی). دوره ۵، شماره ۳ (پیاپی ۱۷). صفحات: ۲۳-۲۹.
- قوامی، م.، قراچرلو، م. و غیائی طرزی، ب. (۱۳۸۷). تکنیک‌های آزمایشگاهی - روغن‌ها و چربی‌ها. ۲۳۰ صفحه.
- هاشم‌پور، ا.، فتوحی قزوینی، ر. و بخشی، د. (۱۳۸۸). مقایسه کیفیت روغن زیتون ارقام زرد، روغنی و ماری در ناحیه کازرون استان فارس. ششمین کنگره علوم باغبانی ایران. رشت. دانشگاه گیلان.
- همایون، م.، حامدی، م.، مصلح‌شاد، م. و صفاف، ح. (۱۳۹۳). بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو رقم زیتون زرد و روغنی شهرهای شیراز و کازرون. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. سال ۹، شماره ۱. صفحات: ۱۲۱-۱۳۰.
- Aguilera, M. P., Beltrán, G., Ortega, D., Fernández, A., Jiménez, A., & Uceda, M. 2005. Characterisation of virgin olive oil of Italian olive cultivars: Frantoio and Leccino, grown in Andalusia. *Food chemistry*, 89(3), 387-391.
- Aparicio, R., & Harwood, J. 2013. Handbook of olive oil. *Analysis and properties*. 2nd ed Springer, New York.
- Blekas, G., Tsimidou, M., & Boskou, D. 1995. Contribution of α -tocopherol to olive oil stability. *Food Chemistry*, 52(3), 289-294.
- Borges, T. H., Pereira, J. A., Cabrera-Vique, C., Lara, L., Oliveira, A. F., & Seiquer, I. 2017. Characterization of Arbequina virgin olive oils produced in different regions of Brazil and Spain: Physicochemical properties, oxidative stability and fatty acid profile. *Food chemistry*, 215, 454-462.
- Codex. 2003. Standard for olive oils and olive pomace oils codex Stan 33-1981
- Dabbou, S., F. Brahmi, S. Dabbou, M. Issaoui, S. Sifi and M. Hammami, 2011. Antioxidant capacity of Tunisian virgin olive oils from different olive cultivars. *African Journal of Food Science and Technology*, 2 (4): 092-097.
- Dag, A., Kerem, Z., Yorgev, N., Zipori, I., Lavee, S., & Ben-David, E. 2011. Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 358-366.
- Del Caro, A., Vacca, V., Poiana, M., Fenu, P., & Piga, A. 2006. Influence of technology, storage and exposure on components of extra virgin olive oil (Bosana cv) from whole and de-stoned fruits. *Food Chemistry*, 98(2), 311-316.
- Fares, N., Jabri, I. K., Sifi, S., & Abderrabba, M. 2016. Physical chemical and sensory characterization of olive oil of the region of Kairouan. *J Mater Environ Sci*, 7, 2148-2154.
- Fiori, F., Dimandja, J. M. D., Boselli, E., Rossetti, F., & Chamkasem, N. 2016. Enhanced Profile Characterization of Virgin Olive Oil Minor Polar Compound Extracts by Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography with Time-of-Flight Mass Spectrometric Detection.
- Firestone, D. 2001. Wiley Award Address: Assuring the Integrity of Olive Oil Products. *Journal of AOAC International*, 84(1), 176-180.
- Gimeno, E., Castellote, A. I., Lamuela-Raventós, R. M., De la Torre, M. C., & López-Sabater, M. C. 2002. The effects of harvest and extraction methods on the antioxidant content (phenolics, α -tocopherol, and β -carotene) in virgin olive oil. *Food Chemistry*, 78(2), 207-211.
- Hashempour, A., Ghazvini, R. F., Bakhshi, D., Aliakbar, A., Papachatzis, A., & Kalorizou, H. 2010. Characterization of virgin olive oils (*Olea europaea* L.) from three main Iranian cultivars, 'Zard', 'Roghani' and 'Mari' in Kazeroon Region. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(4), 2080-2084.
- IOC. 2012. General description of olive growing in Iran.

- Kharazi, S. H., Kenari, R. E., Amiri, Z. R., & Azizkhani, M. 2012. Characterization of Iranian virgin olive oil from the Roodbar region: A study on Zard, Mari and Phishomi. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(7), 1241-1247.
- Kritioti, A., Menexes, G., & Drouza, C. 2018. Chemometric characterization of virgin olive oils of the two major Cypriot cultivars based on their fatty acid composition. *Food Research International*, 103, 426-437.
- Mateos, R., Domínguez, M. M., Espartero, J. L., & Cert, A. 2003. Antioxidant effect of phenolic compounds, α -tocopherol, and other minor components in virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), 7170-7175.
- Moreau, R. A., Powell, M. J., & Singh, V. 2003. Pressurized liquid extraction of polar and nonpolar lipids in corn and oats with hexane, methylene chloride, isopropanol, and ethanol. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(11), 1063-1067.
- Morrone, L., Neri, L., Cantini, C., Alfei, B., & Rotondi, A. 2018. Study of the combined effects of ripeness and production area on Bosana oil's quality. *Food Chemistry*, 245, 1098-1104.
- Najafzadeh, M., Reynolds, P. D., Baumgartner, A., & Anderson, D. 2009. Flavonoids inhibit the genotoxicity of hydrogen peroxide (H₂O₂) and of the food mutagen 2-amino-3-methylimidazo [4, 5-f]-quinoline (IQ) in lymphocytes from patients with inflammatory bowel disease (IBD). *Mutagenesis*, 24(5), 405-411.
- Peri, C. (Ed.). 2014. *The extra-virgin olive oil handbook*. John Wiley & Sons.
- Rondanini, D. P., Castro, D. N., Searles, P. S., & Rousseaux, M. C. 2011. Fatty acid profiles of varietal virgin olive oils (*Olea europaea* L.) from mature orchards in warm arid valleys of Northwestern Argentina (La Rioja). *Grasas y aceites*, 62(4), 399-409.
- Saguy, I. S., Shani, A., Weinberg, P., & Garti, N. 1996. Utilization of jojoba oil for deep-fat frying of foods. *LWT-Food Science and Technology*, 29(5-6), 573-577.
- Saldeen T, Li D, Mehta, J.L. 1999. Differential effects of alpha- and gamma - tocopherol on low-density lipoprotein oxidation, superoxide activity, platelet aggregation and arterial thrombogenesis. *J Amer Coll Cardiol* . 34:1208-1215
- Yang, Y., Ferro, M. D., Cavaco, I., & Liang, Y. 2013. Detection and identification of extra virgin olive oil adulteration by GC-MS combined with chemometrics. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(15), 3693-3702.



Qualitative evaluation of virgin olive oil produced from different olive cultivars in Darab-Shiraz region

L. ArjmandFard¹, Sh. Shahriari^{2*}, M. Ghavami³

Received: 2020.04.16

Accepted: 2020.11.19

Introduction: Olive oil is one of the most useful vegetable oils. The climatic conditions, cultivars, cultivation methods, harvesting time and processing method determine the final qualities of olive oil, recognizing the best olive oil for leaching seems to be necessary.

Materials and Methods: This study aimed to evaluate the chemical composition, acidity index, iodine and soap number of virgin olive oil derived from Amygdal, Manzanilla, Arbicen and mixed vegetable oils grown in Darab, Shiraz.

Results and Discussion: The results showed that all the oil acidity index the limit set by the Codex and IOOC were higher. The maximum and a minimum number of olive oil acid, was observed in the amygdala (83.7%) and Arbicen (83.1%) respectively. The highest and lowest amount of iodine was seen in olive cultivar Manzanilla (78.06) and Arbicen (81.6122), respectively. No significant difference in soap numbers in the samples was observed. During the study of tocopherol compounds, alpha-tocopherol was the highest in all samples, after which the levels of alpha-tocopherol and gamma-tocopherol were higher than all compounds. Delta-tocopherol and Delta-tocutriol were not observed in any of the examined specimens. The highest total Technological compound was in Manzanilla (1691.88%). oleic fatty acid abundant in all samples. The content of oleic and linoleic acid show that oleic acid and linoleic acid content is always an inverse correlation. Also, the linoleic acid content increases with the reduction of oleic acid. Investigation of conjugated compounds showed that the samples were Virgin.

Keywords: olive oil, virgin, fatty acid, tocopherol, conjugate bond

1 and 3. MSc and Professor Department of Food Science and Technology, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Shahr-e- Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(* Corresponding authors Email: shahla_shahriari@yahoo.com)



مقاله پژوهشی

بررسی شرایط تولید پاستیل با استفاده از ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلیکا و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی آن در مقایسه با ژلاتین تجاری (گاوی)

الهام مبینی^۱ - لیلاناظقی^{۲*} - محمدرضا اسحاقی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۲

چکیده

ژلاتین یکی از مهمترین بیوپلیمرها است که کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی، عکاسی و صنعتی دارد. تقاضای زیاد برای غذای حلال، نیاز به تهیه ژلاتین در صنایع غذایی را افزایش داده است. لذا هدف از این پژوهش استخراج ژلاتین از ماهی کیلیکا و جایگزینی با غلظت‌های (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) در فرمولاسیون پاستیل و مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی پاستیل حاوی ژلاتین ماهی با پاستیل حاصل نمونه تجاری (گاوی) بود. مطابق با نتایج دمای تشکیل ژل، دمای ذوب شدن ژل و زمان ذوب شدن ژل ژلاتین ماهی کمتر از ژلاتین تجاری بود اما زمان تشکیل ژل در ژلاتین ماهی بیشتر از ژلاتین تجاری بود. همچنین بازده استخراج ژلاتین از ماهی کیلیکا ۹/۲۰۴ درصد بود. اثر درصدهای مختلف ژلاتین استخراج شده ماهی بر شاخص‌های pH، رطوبت، بریکس، فعالیت آبی، شاخص‌های رنگی (L^* ، a^* و b^*)، خواص بافتی (چسبندگی، پیوستگی، صمغیت و قابلیت جویدن) و شاخص‌های ارزیابی حسی (مزه، عطر و بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی) معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$). نتایج نشان داد با افزایش جایگزینی درصدهای مختلف ژلاتین ماهی شاخص‌های pH، بریکس، L^* ، تمامی شاخص‌های بافت سنجی و ارزیابی حسی کاهش و مقدار رطوبت، فعالیت آبی و شاخص‌های رنگی a^* و b^* افزایش یافت. تیمار حاوی ۵۰ درصد ژلاتین ماهی + ۵۰ درصد ژلاتین تجاری به دلیل نزدیک بودن به نمونه شاهد از نظر خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارزیابی حسی به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شد. استفاده از درصدهای مختلف جایگزینی ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلیکا اثر نامطلوبی بر خواص فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی پاستیل نداشت و تنها شاخص‌های ارزیابی حسی به‌دلیل وجود طعم و بوی ماهی کیلیکا باعث کاهش امتیازات ارزیابی حسی شد. بنابراین می‌توان با طعم‌دار کردن پاستیل‌های تولیدی ویژگی‌های ضعیف ارزیابی حسی پاستیل تولید شده از ژلاتین ماهی را پوشش داده و از آن در تولید صنعتی ژلاتین استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پاستیل، ژلاتین، ماهی کیلیکا، ژلاتین تجاری

مقدمه

خاصیت ارتجاعی، ایجاد قوام و ثبات در مواد غذایی استفاده می‌شود. ژلاتین با هیدروکلوئیدهای دیگر متفاوت است، زیرا بیشتر آن‌ها پلی‌ساکارید هستند، در حالی که ژلاتین یک پروتئین قابل هضم و حاوی تمامی اسیدهای آمینه ضروری به‌جز تریپتوفان است، بنابراین بر اساس قوانین اتحادیه اروپا، ژلاتین به‌عنوان یک ماده غذایی محسوب می‌شود (فرحناکی و همکاران، ۱۳۸۸). ژلاتین یکی از معدود پروتئین‌های مناسب جهت تولید صنعتی با استفاده از محصولات جانبی کارخانه‌ها صنایع گوشت می‌باشد. این ماده به مقدار زیادی در صنایع غذایی به‌منظور ایجاد ژل، ایجاد یا تهیه امولسیون، ایجاد پیوند و قوام مناسب در محصولات مختلف استفاده می‌گردد. ژلاتین با کاهش میزان کالری در مواد غذایی به‌منظور افزایش سطح پروتئین به‌ویژه در غذاهای ورزشکاران (به‌طور خاص، بدن‌سازان) توصیه شده است. به‌علاوه، ژلاتین در کاهش کربوهیدرات، در غذاهای فرموله شده برای بیماران دیابتی شرکت دارد (Kim, 2005). در سال‌های اخیر، تقاضای مصرف ژلاتین، افزایش یافته است به‌طوری‌که

ژلاتین یکی از پرمصرف‌ترین مواد پروتئینی کلونیدی در صنایع غذایی، دارویی، پزشکی و نظامی است که در چهار درجه متفاوت خوراکی، صنعتی، فوتوگرافی و دارویی تولید می‌شود. در صنایع غذایی در تهیه مارمالادها، ژله‌ها، شیرینی‌ها، بستنی‌ها و غیره به‌کار می‌رود که به‌آسانی در بدن جذب شده و به هضم سایر مواد غذایی از طریق تشکیل امولسیون با چربی‌ها و پروتئین‌ها کمک می‌نماید (محمودی و توکلی پور، ۱۳۹۷).

ژلاتین یک پلیمر زیستی بسیار مهم است که از استخوان، پوست و غضروف حیوانات تهیه می‌گردد و به‌طور گسترده به‌منظور بهبود

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجو کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: leylanateghi@yahoo.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.86414

تولید سالیانه ژلاتین در جهان در حدود ۳۲۶۰۰۰ تن است که ۴۶٪ آن از پوست خوک، ۲۹/۴٪ از پوست گاو، ۲۳/۱٪ از استخوان و ۱/۵٪ از منابع دیگر به دست می آید.

اخیراً تحقیقات زیادی برای پیدا کردن منابع جایگزین ژلاتین به دست آمده از پستانداران شده است. در دهه‌ی گذشته، گرایش زیادی به ژلاتین به دست آمده از ماهی و ماکیان وجود داشته است. پوست و استخوان ماکیان برای تولید ژلاتین به کار می‌روند اما به علت بازده پایین، تولید آن‌ها در مقیاس تجاری محدود شده است. در این خصوص، ژلاتین ماهی، پیشنهاد بهتری برای جایگزینی ژلاتین پستانداران است اگرچه در حال حاضر تولید ژلاتین ماهی خیلی رایج نیست و فقط حدود ۱ درصد تولید سالیانه ژلاتین در جهان را تشکیل می‌دهد (Arnesen and Gidberg, 2006). سالانه مقادیر قابل توجهی کلاژن برای استخراج ژلاتین به کشور وارد شده و از این طریق ارز زیادی از کشور خارج می‌شود. از این رو بخشی از ژلاتین تولید شده در جهان از پوست و استخوان خوک تهیه می‌گردد که مصرف آن از لحاظ شرعی در کشورهای مسلمان اشکال دارد. همچنین بیماری جنون گاوی دام‌های زیادی را در اروپا و در کشورهای دیگر مبتلا کرده است و خطر انتقال آن از پوست و استخوان این دام‌ها وجود دارد و با توجه به اینکه ماهی هیچکدام از این معایب را نداشته و باقی‌مانده‌های آن به عنوان ضایعات هدر رفته و مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرند. به علاوه ایران منبع عظیم دریایی انواع ماهیان دریایی را دارد که می‌توان با توجه به فراوانی، قابل دسترس بودن و ارزانی از ضایعات شیلات به عنوان ماده اولیه برای تولید کلاژن استفاده نمود (FAO, 2012; Djagnya et al., 2001).

ماهی کِلِکا یک نوع ماهی ریز که زیستگاه آن نواحی مرکزی و جنوبی دریای خزر می‌باشد و یکی فراوان‌ترین و صنعتی‌ترین گونه‌های ماهی می‌باشد. این ماهی که از پلانکتون تغذیه می‌کند خود مورد تغذیه سایر ماهیان از جمله ماهیان خاویاری قرار می‌گیرد. کِلِکای دریای خزر از نوع کوچک پلاژیک با طول متوسط ۱۰-۷ سانتی‌متر به وزن ۱۲-۸ گرم می‌باشد و به صورت گروهی (گله‌ای) حرکت می‌کنند. سه گونه ماهی کِلِکا در دریای خزر زندگی می‌کنند که از نظر شکل ظاهری، اندازه، ویژگی‌های زیستی و اکولوژیکی با یکدیگر تفاوت‌ها دارند. از نظر مفهوم این تفاوت‌ها در مواردی از شکل، زمان صید، نحوه صید و چگونگی نگهداری و عمل‌آوری و نهایتاً در تهیه انواع فرآورده‌ها تأثیر گذاشته است (عمادی، ۱۳۷۲).

فرآوری این گونه‌ها عمدتاً به دلیل اندازه کوچک و دشواری فیله کردن آن‌ها، وجود مقادیر زیاد استخوان‌های ریز، وجود مقادیر زیاد عضلات تیره، چربی بالا (معمولاً با نوسانات فصلی زیاد) و حساس به اکسیداسیون، مقادیر زیاد پروتئین‌های هم^۱ که منجر به مشکل رنگ و

فساد چربی در آن‌ها می‌شود با محدودیت‌های فراوانی روبروست (Kelleher et al., 2004). مزایای استفاده از ژلاتین ماهی عبارتند از: عدم محدودیت بهداشتی و مذهبی ژلاتین ماهی، افزایش سرانه مصرف آبزیان به‌ویژه در رشد کودکان به صورت محصولات تنقلاتی، بالا بودن میزان محصولات جانبی منابع دریایی و ضایعات حاوی کلاژن و کاهش آلودگی زیست‌محیطی ناشی از تخلیه نامناسب ضایعات دریایی (Trindade et al., 2015). در عین حال ماهی کِلِکا بدلیل اندازه ریز و گوشت تیره به صورت جدی در سبد غذایی خانوار قرار نگرفته است. بخش ناچیزی از صید این ماهی به منظور مصرف انسان استفاده شده که به ترتیب برابر ۹-۳ درصد در استان گیلان و ۱۲-۵ درصد در استان مازنداران می‌باشد. در مقابل بخش قابل توجهی از باقی‌مانده صید ماهی کِلِکا جهت خوراک طیور استفاده می‌شود از این رو چون ماهی کِلِکا مصرف خوراکی بالایی ندارد و در نتیجه بازار مصرف خوبی ندارد می‌تواند منبع خوبی برای تولید ژلاتین باشد و از طرف دیگر این گونه بهره‌برداری‌ها از رهاسازی این ضایعات در طبیعت و آلودگی محیط‌زیست جلوگیری می‌کند (Motalebi and seyfzadeh, 2011). حدود ۹۰ درصد مقدار صید ماهی کِلِکا برای تولید پودر ماهی به کار خانجات و صنایع شیلاتی مرتبط ارسال شده است. و روغن ماهی که در این کارخانجات به دست می‌آید یک محصول جانبی با ارزش تجاری پایین محسوب می‌شود (Motalebi-Moghanjoghi et al., 2015). در حالی که مطالعات نشان داده است این ماهی کوچک حاوی اسیدهای چرب غیراشباع و امگا-۳ می‌باشد. که اثرات سلامت‌بخشی روغن ماهی باعث شده که این روغن کاربردهای فراوانی در مواد غذایی، دارویی و بهداشتی پیدا کند (Pirestani et al., 2010).

تقلات می‌توانند نقش مهمی در تأمین انرژی روزانه و مواد مغذی ایفا نمایند. این نقش می‌تواند به فاکتورهای زیادی نظیر سن، زمینه اقتصادی- فرهنگی، وضعیت فیزیکی بدن، جنس و فاکتورهای دیگر بستگی داشته باشد. از جمله فرآورده‌های غذایی محبوب به‌ویژه نزد کودکان، پاستیل است که ضمن بالا بودن ارزش تغذیه‌ای به دلیل کاهش فعالیت آبی، زمان ماندگاری بالایی دارد. مهم‌ترین انواع پاستیل‌ها، پاستیل میوه‌ای (گیاهی) و پاستیل بر پایه ژلاتین (حیوانی) است (et al., 2011; Khazai Pool).

از جمله فرآورده‌های جدید به دست آمده از میوه‌ها، پاستیل‌های میوه‌ای هستند که ارزش تغذیه‌ای بالایی دارند. پاستیل‌ها نوعی آب‌نبات نرم هستند که از میوه‌های مازاد بر مصرف تهیه می‌شوند. به دلیل کاهش فعالیت آبی، زمان ماندگاری زیاد دارند. ترکیبات موجود در پاستیل شامل طعم‌دهنده‌ها، ترکیبات دارویی، اسانس‌ها و مواد مؤثره مختلف به تدریج با جوییدن آرام در دهان آزاد شده و تأثیر خود را اعمال می‌کنند. از جمله مواد تشکیل‌دهنده پاستیل‌ها، ترکیبات قوام

^۱ Heme

آزمایشات به همان صورت نگهداری گردید. سایر مواد مصرفی سدیم هیدروکسید، اسید سیتریک و هیدروکلریک اسید از شرکت مرک (آلمان)، گلوکز مایع و پودر دکستروز از شرکت دکستروز (ایران) و شکر از شرکت گلستان (ایران) تهیه شد.

تولید ژلاتین از ماهی کیلیکا

طبق بررسی‌های انجام شده، روش استاندارد استخراج ژلاتین به دو روش اسیدی و قلیایی، انجام می‌شود. در ابتدا ۵۰۰ گرم از ماهی را در دمای اتاق از حالت انجماد خارج کرده و سپس به تکه‌های ۲ تا ۳ سانتی‌متر مربع خرد و توزین نموده و در کاغذ صافی پیچانده و پس از گذاشتن آنها در کاتوش، جداگانه آنها در دستگاه سوکسله به‌منظور جداسازی چربی آنها، قرار داده و به‌وسیله ۲۰۰ سی‌سی پترلیوم به مدت ۶ ساعت چربی آنها استخراج گردید. به دلیل اینکه فقط کلاژن موجود در پوست و ضایعات ماهی است که در اثر هیدرولیز به ژلاتین تبدیل می‌شود، بنابراین باید تمام ترکیبات همراه با کلاژن موجود در ضایعات ماهی از جمله چربی و مواد معدنی و پروتئین‌های دیگر را جدا نمود. وجود چربی باعث تشکیل صابون از طریق ترکیب اسید چرب و قلیایی مصرفی در طول فرآیند تولید ژلاتین خواهد شد. بنابراین ضروری است در مرحله اول فرآیند، آن را جدا نمود (Ashgar, 1992). مرحله بعد حذف املاح است بدین ترتیب نمونه‌های بدون چربی با سدیم هیدروکسید ۱/۲ نرمال به مدت ۶۷/۵ دقیقه در دمای محیط قرار داده شد و سپس در ۲۰۰-۳۰۰ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۱/۲ نرمال به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار داده شد. در طول این مدت ترکیبات نامطلوب و املاح از بافت ماهی خارج شده و بافت جهت استخراج بهتر ژلاتین نرم می‌گردد. هدف از املاح‌گیری توسط اسید، عمدتاً گرفتن املاح کلسیم است. سپس با ۴ لیتر آب مقطر با نسبت ۴ به ۱ (آب/ ماهی کیلیکا) در دو مرحله ۳۰ دقیقه‌ای به مدت ۳ ساعت شستشو می‌دهیم تا pH به حدود ۶-۶/۵ تنظیم گردید، زیرا که در این محدوده pH سرعت تجزیه محلول ژلاتین حاصل در حداقل است و بهترین نتایج به‌دست می‌آید. مرحله بعد هیدرولیز کلاژن و تبدیل آن به ژلاتین توسط حرارت و در مجاروت آب است. بدین ترتیب حدود ۳۴۰۰ میلی‌لیتر آب را به دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد رسانده و نمونه‌ها را داخل آن قرار داده و سپس به مدت ۴ ساعت در حمام آب ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌گزاریم. سپس نمونه‌ها را با ۲۵۰ RPM و به مدت ۱۰ دقیقه و در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ نموده و در اثر این عمل موکوپلی‌ساکاریدهایی مانند هیالورونیک اسید و کندروایتین سولفات که دارای وزن مولکولی زیاد هستند رسوب می‌کنند و جدا می‌گردند. مرحله بعد فیلتراسیون می‌باشد که توسط کاغذ واتمن شماره ۱ و پمپ خلاء انجام می‌شود. در واقع برای کاهش بوی نامطلوب ماهی از تبخیرکننده‌های تحت

دهنده نظیر گوار، آگار، ژلاتین، پکتین و صمغ‌های مختلف مانند صمغ عربی هستند که باعث ایجاد پیوند بین ترکیبات در یک محیط هیدروکلوئیدی و تشکیل امولسیون و بهبود بافت می‌شوند. بسته به نوع این ترکیبات، سرعت حل شدن محصول و میزان آزادسازی ترکیبات موجود متفاوت هستند. این فرآورده را می‌توان از میوه‌های مازاد بر مصرف نیز تهیه نمود. تولید چنین فرآورده‌ای در مقیاس تجاری علاوه بر جلوگیری از ضایعات میوه به دلیل طبیعی بودن و ارزش غذایی بالا به‌ویژه از نظر میزان مواد معدنی، ویتامین‌ها و فیبر، زمان ماندگاری بالا، طعم مطلوب، می‌تواند موردتوجه قشر وسیعی از جامعه قرار گیرد (فتحی، ۱۳۷۱).

سایر محققین هم از ضایعات ماهی در فرمولاسیون‌های مواد غذایی استفاده نمودند که می‌توان به آبرومند (۱۳۸۶)، تولید ژلاتین خوراکی از ضایعات ماهی، کورشیان و بهنام (۱۳۹۲)، بهینه‌سازی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ژلاتین استخراج‌شده از پوست ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، میرزاپور و همکاران (۱۳۹۷)، ویژگی‌های ژلاتین استخراج‌شده از ضایعات ماهی کپور معمولی به روش هیدرولیز آنزیمی، Ninan و همکاران (۲۰۱۱ a)، خصوصیات بافتی و فیزیکوشیمیایی ژلاتین و دسر تهیه‌شده از پوست کپور آب شیرین، Chandra و Shamasundar (۲۰۱۵)، خصوصیات رئولوژیکی ژلاتین تهیه‌شده از کیسه شنا ماهی کاتلا، Kumar و همکاران (۲۰۱۷)، بررسی خصوصیات ژلاتین استخراج‌شده (ظرفیت نگهداری آب، امولسیون و شکلی) از پوست ماهی شوریده با روش سریع، اشاره نمود.

برای اینکه پاستیل‌های با فرمولاسیون جدید، بافت و ظاهری شبیه پاستیل‌های رایج داشته باشند، به‌طوری‌که امکان بسته‌بندی و نگهداری آن وجود داشته باشد، می‌بایست از ژلاتین، صمغ‌ها و شیرین‌کننده‌ها در مقادیر مناسب استفاده نمود. در میان هیدروکلوئیدهایی که امروزه در مواد غذایی به‌ویژه انواع پاستیل استفاده می‌شوند یکی از بیشترین موارد مصرف مربوط به ژلاتین می‌باشد (فرحناکی و همکاران، ۱۳۸۸). میزان صید ماهی کیلیکا در ایران فراوان بوده و به دلیل عدم مصرف مصرف‌کنندگان، ضایعات صید به حساب می‌آید. بنابراین می‌توان با تولید ژلاتین از ماهی کیلیکا، میزان نیاز واردات ژلاتین را کاهش داد. هدف از تحقیق حاضر استفاده از ژلاتین استخراج‌شده از ماهی کیلیکا در فرمولاسیون پاستیل و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و حسی محصول تولیدی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ماهی کیلیکا از شرکت پاک ثمر میرود (ایران) تهیه شد. نمونه‌ها به‌صورت منجمد به آزمایشگاه منتقل و تا شروع

زمان انجام آزمایش در دمای محیط نگهداری شدند (بصیری و شهیدی، ۱۳۹۴).

آزمون‌های مرتبط با ژلاتین استخراج‌شده از ماهی کیلکا راندمان استخراج ژلاتین

جهت اندازه‌گیری راندمان استخراج ژلاتین، از روش میرزاپور و همکاران (۱۳۹۷) استفاده شد در این روش مطابق با رابطه ۱ از نسبت وزن خشک ژلاتین استخراج‌شده به وزن ماهی کیلکا مرطوب به درصد استفاده شد:

$$(۱) \quad ۱۰۰ \times \text{وزن ماهی کیلکا مرطوب (گرم)} / \text{وزن ژلاتین خشک شده (گرم)} = \text{راندمان استخراج (درصد)}$$

اندازه‌گیری پروتئین

برای اندازه‌گیری پروتئین از روش آنزیمی، توسط روش کلدال استفاده شد. بدین صورت که ۱ گرم از نمونه‌ها همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ، یک قرص کاتالیزور و کمی سلیوم و پارافین در بالن کلدال ریخته شد و عملیات هضم تا مشاهده رنگ سبز شفاف ادامه یافت. پس از سرد شدن محتویات بالن، مواد به درون دستگاه کلدال (۸۴۰۰، سوئد) انتقال داده شد و عملیات تقطیر انجام شد و نهایتاً با اسیدکلریدریک ۰/۱۲ نرمال تیتیر گردید. در نهایت درصد پروتئین از رابطه ذیل به‌دست آمد (میرزاپور و همکاران، ۱۳۹۷).

$$(۲) \quad V \times N \times 100 \times 14 / m \times 1000 = \text{نیتروژن (درصد)}$$

که V (حجم اسید مصرفی)، N (نرمالیت اسیدکلریدریک ۰/۱۲)، m (جرم نمونه بر حسب گرم) می‌باشد.

$$(۳) \quad \text{فاکتور پروتئینی (۵/۴)} \times \text{درصد نیتروژن} = \text{درصد پروتئین}$$

دما و زمان بسته شدن ژل ژلاتین

برای تعیین دمای بستن ژلاتین، محلول ۱۰ درصد ژلاتین را ساخته و پس از حل کردن در حمام آب گرم حدود ۳۰ میلی‌لیتر از آن را به لوله آزمایش و سپس به حمام آب ۴۰ درجه سانتی‌گراد منتقل کرده و سپس حمام آب را به آرامی با افزودن آب سرد با دمای ۲ درجه سانتی‌گراد در فواصل زمانی ۱۵ ثانیه سرد گردید. در این حالت دماسنج را در محلول قرارداده و هر ۱۵ ثانیه از آن خارج کرده و درجه حرارتی که دیگر قطره‌ای از روی دماسنج در هنگام خارج کردن از آن نچکد به‌عنوان درجه حرارت بستن ژلاتین ثبت گردید و برای تعیین زمان بستن نیز مراحل قبلی را تکرار و به‌جای دماسنج از یک تکه چوب استفاده شد و زمانی را که دیگر تکه چوب از محلول ژلاتین جدا

خلاء استفاده می‌گردد. سپس محلول ژلاتین حاصله در ظروف آلومینیومی ریخته شده و با فویل‌های آلومینیومی بسته‌بندی شد و در آن با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت نگهداری شد تا ورق‌های ژلاتینی به دست آید. سپس ورق‌های ژلاتین از ظرف آلومینیومی به آرامی جدا شده و جهت تهیه پاستیل نگهداری شدند (Boran et al., 2010; Ratnasari et al., 2014).

تهیه پاستیل

جهت تهیه ۱۰۰ گرم پاستیل ابتدا ژلاتین تولیدشده در مرحله قبل را مطابق با جدول تیمارها (جدول ۱)، به نسبت‌های معین در آب مقطر (دو برابر وزن ژلاتین) حل کرده (۱۰ درصد) و با استفاده از همزن مغناطیسی (Jablo، آلمان) در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط کرده و برای خروج حباب‌های هوا و شفاف‌سازی محلول، مخلوط حاصل را در حمام آب گرم (۷۰ درجه سانتی‌گراد) قرارداده شد.

جدول ۱- تیمارها

تیمار	ژلاتین استخراج‌شده از ماهی کیلکا (درصد)	ژلاتین تجاری (درصد)
c (شاهد)	صفر	۱۰۰
T ₁	۲۵	۷۵
T ₂	۵۰	۵۰
T ₃	۷۵	۲۵
T ₄	۱۰۰	صفر

عمل هم زدن تا زمانی که کدورت محلول برطرف شود ادامه یافت. در مرحله بعد برای تهیه شربت قندی از گلوکز مایع (۱۵ گرم)، پودر دکستروز (۱۵ گرم) و شکر (۳۵ گرم) به همراه چند قطره آب مقطر استفاده شد. سپس اختلاط مخلوط حاصل با همزن مغناطیسی صورت گرفت و تا رسیدن به دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا شربت قندی با بریکس حدود ۸۰ تهیه گردد. در مرحله بعد شربت قندی بعد از کاهش دما به محلول ژلاتینی افزوده و مخلوط حاصل داخل حمام آب گرم (۷۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت تا حباب‌های هوا به‌طور کامل خارج گردند. سپس برای رسیدن به pH ۳، اسیدسیتریک (۱/۵ گرم) اضافه و به آرامی مخلوط شده تا حباب‌های هوا وارد نشوند. پس از اختلاط، محلول ژلاتینی- قندی درون قالب‌هایی از جنس پلی‌پروپیلن با ابعاد ۲×۲×۲ سانتی‌متر ریخته سپس قالب‌ها به مدت ۲ ساعت برای سفت شدن و آبگیری کامل داخل یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در مرحله بعد پاستیل‌ها از قالب‌ها خارج گردیده و نمونه‌ها به مدت ۷ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون آون (Memmert، آلمان) قرار گرفته و خشک شدند. پس از مرحله خشک شدن نمونه‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار به منظور حفظ رطوبت بسته‌بندی و تا

نشد به عنوان زمان بستن ژلاتین ثبت گردید (میرزاپور و همکاران، ۱۳۹۷).

دما و زمان باز شدن ژل ژلاتین

برای تعیین دمای باز شدن ژلاتین، محلول ۱۰ درصد ژلاتین را مطابق با مراحل قبل ساخته، داخل یخچال در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶-۱۸ ساعت قرار داده و سپس به حمام آب ۱۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و به تدریج به آن آب گرم ۴۵ درجه سانتی‌گراد اضافه گردید. بدین وسیله دما و زمان باز شدن ژلاتین را ثبت شد. هر زمانی که چوب شاخص از محلول به راحتی جدا شد به عنوان زمان باز شدن و دمایی که دماسنج به راحتی جدا شود به عنوان دمای باز شدن در نظر گرفته شد (میرزاپور و همکاران، ۱۳۹۷).

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی مربوط به ژلاتین pH

اندازه‌گیری pH طبق روش استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۷۴ انجام شد. مطابق با این استاندارد مقدار ۱ گرم ژلاتین را با دقت ۰/۰۰۱ گرم، درون بشر وزن کرده و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر بدون دی‌اکسید کربن به آن اضافه نموده و سپس در حمام آب گرم حل شده سپس pH محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه pH متر (مارتینی - ایتالیا) اندازه‌گیری گردید (ISIRI, 1994).

رطوبت

برای اندازه‌گیری رطوبت مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۷۴، ابتدا ظرف شیشه‌ای را به مدت ۱ ساعت در آون (Memmert، آلمان) قرارداده و پس از خنک شدن در دسیکاتور توزین گردید. سپس مقدار ۵ گرم نمونه را با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم بر روی آن توزین و ظرف حاوی نمونه را به مدت ۱۶ ساعت درون آون قرار داده و پس از پایان زمان مذکور آن را خارج کرده و در دسیکاتور خنک گردید. پس از خنک شدن آن را توزین کرده و درصد رطوبت را از رابطه ۴ محاسبه گردید:

$$(4) \quad \text{درصد رطوبت} = (m_1 - m_2) / m \times 100$$

m_1 : وزن ظرف شیشه‌ای و نمونه پیش از خشک شدن بر حسب گرم
 m_2 : وزن ظرف شیشه‌ای و نمونه پس از خشک شدن بر حسب گرم
 m : وزن نمونه بر حسب گرم (ISIRI, 1994).

بریکس

برای اندازه‌گیری بریکس ۲۰ گرم از نمونه پاستیل حاوی ژلاتین ماهی و ۲۰ گرم از نمونه شاهد را با ۸۰ گرم آب ۵۰ درجه سانتی‌گراد

مخلوط تا حل شدن کامل در آب هم‌زده شد، سپس محلول تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد سرد و توسط رفراکتومتر (VBR-90A، تایوان)، مقدار بریکس محلول خوانده شد (ISIRI, 2013).

فعالیت آبی

جهت اندازه‌گیری فعالیت آبی نمونه‌های پاستیل مطابق با روش هراتی و همکاران (۱۳۹۵) وزن‌های مساوی از هر نمونه کاملاً خرد گردید و فعالیت آبی توسط دستگاه رطوبت‌سنج (Novasina، سوئیس) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد (هراتی و همکاران، ۱۳۹۵).

بافت‌سنجی

جهت انجام آزمون بافت‌سنجی از دستگاه بافت‌سنج (Gerhardt، آلمان) با روش TPA^۱ برای اندازه‌گیری ویژگی‌هایی نظیر سختی، پیوستگی، صمغی بودن، فتریت و چسبندگی استفاده شد. بدین منظور هر یک از نمونه‌ها در دو سیکل رفت و برگشتی، توسط پروب سیلندری صفحه گرد با قطر ۳ سانتی‌متر، سرعت حرکت پروب ۶۰ میلی‌متر در دقیقه و نیروی ۵ گرم تا ۳۰ درصد ارتفاع اولیه نمونه فشرده‌شده و سپس فشارزدایی گردیدند (مجاوریان و همکاران، ۱۳۹۷).

ارزیابی حسی

جهت انجام ارزیابی حسی ویژگی‌های مزه، بافت، رنگ، عطر و بو و پذیرش کلی توسط ۱۰ نفر ارزیاب‌های نیمه آموزش‌دیده با روش هدونیک پنج نقطه‌ای (کمترین امتیاز: ۱ و بیشترین امتیاز: ۵) مورد ارزیابی قرار گرفت (مجاوریان و همکاران، ۱۳۹۷).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در این تحقیق ۵ تیمار با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. به منظور مقایسه میانگین‌ها از آنالیز واریانس یکطرفه دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ نرم‌افزار ۱۶ Minitab استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه ویژگی‌های ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلیکا با ژلاتین تجاری

نتایج ویژگی‌های ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلیکا و ژلاتین تجاری در جدول ۲ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، دمای تشکیل ژل، دمای ذوب شدن ژل و زمان ذوب شدن ژل ژلاتین ماهی

^۱ Texture Profile Analysis

به طور معنی‌دار ($p \leq 0.05$) کمتر از ژلاتین تجاری بود اما زمان تشکیل ژل در ژلاتین ماهی به‌طور معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بیشتر از ژلاتین تجاری بود. همچنین راندمان استخراج ژلاتین ماهی ۹/۲۰۴ درصد اندازه گیری شد.

جدول ۲- ویژگی‌های ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلکا و ژلاتین تجاری

نمونه	pH	پروتئین (%)	دمای تشکیل ژل (سانتی گراد)	زمان تشکیل ژل (ثانیه)	دمای ذوب ژل (سانتی گراد)	زمان ذوب ژل (ثانیه)
ژلاتین ماهی	۵/۹۰۰±۰/۱۰۰ ^a	۸۷/۷۳۳±۰/۸۰۸ ^b	۱۹/۳۳۳±۰/۲۳۵ ^b	۱۰۳/۰۰۰±۲/۰۰۰ ^a	۲۰/۰۷۷±۰/۱۳۸ ^b	۱۲۷/۰۰۰±۱/۰۰۰ ^b
ژلاتین تجاری	۶/۸۷۷±۰/۰۵۵ ^a	۹۱/۷۰۰±۰/۱۰۰ ^a	۲۳/۰۰۰±۰/۵۰۰ ^a	۹۰/۰۰۰±۲/۰۰۰ ^b	۲۶/۰۰۰±۰/۵۰۰ ^a	۱۵۰/۰۰۰±۱/۰۰۰ ^a

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

و دمای پایین تشکیل ژل، زمان طولانی تشکیل ژل است. بنابراین دمای پایین تشکیل ژل در ژلاتین ماهی به همین دلیل می‌باشد.

استخراج ژلاتین از پوست و فلس ماهی با استفاده از پروتئازهای استخراج شده از لوله گوارش ماهی توسط یزدانی دهنوی (۱۳۹۲) بررسی شد و مشخص گردید مطابق با الگوی الکتروفورز ژلاتین پوست ماهی با میزان پپتیدهای کوچکتر از زنجیره آلفا، زمان تشکیل ژل بیشتری را نیاز دارند. همچنین نتایج نشان داد دمای تشکیل ژل، دمای ذوب ژل و زمان ذوب ژل برای ژلاتین ماهی کمتر از ژلاتین تجاری بود در حالی که زمان تشکیل ژل برای ژلاتین ماهی بیشتر از ژلاتین تجاری بود که با نتایج حاصل از این تحقیق مشابهت داشت. نتایج مشابهی با نتایج تحقیق میرزاپور و همکاران (۱۳۹۷) که به بررسی و مقایسه خواص کیفی ژلاتین استخراج شده از فلس و باله ماهی کپور با ژلاتین تجاری حلال گاوی پرداخته بودند، به‌دست آمد. بیان نمودند زمان تشکیل ژل در ژلاتین فلس و باله ماهی کپور (۹۹/۱۱) بیشتر از زمان تشکیل ژل در ژلاتین تجاری گاوی (۹۱/۴۷) بود و زمان ذوب و دمای ذوب ژل ژلاتین فلس و باله ماهی کمتر از ژلاتین تجاری بود. Ninan و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند زمان تشکیل ژل ژلاتین برای ماهی کپور معمولی ۱۰۳ ثانیه و بیشتر از ژلاتین تجاری بود و دمای تشکیل ژل برای ژلاتین ماهی کمتر از نوع تجاری بود که با نتایج حاصل از این تحقیق مشابهت داشت.

بازده ژلاتین جزء فاکتورهای مهم اقتصادی آن بوده و راندمان بالا نشان‌دهنده ضریب استحصال بالای ژلاتین می‌باشد (درویش متولی، ۱۳۹۳). بازده ژلاتین استخراج شده از ماهی، کمتر از ژلاتین استخراج شده از پستانداران است که تقریباً بین ۶ تا ۱۹ درصد است (گرم ژلاتین خشک در هر ۱۰۰ گرم از پوست تمیز). بازده کم ژلاتین ماهی می‌تواند به دلیل از بین رفتن کلاژن به‌وسیله شست و شو در مراحل اولیه یا به دلیل هیدرولیز ناقص باشد (شهنازبار، ۱۳۹۱). به علاوه گزارش‌هایی وجود دارد که در هنگام فرایند استخراج در دماهای بالا برخی آنزیم‌های پروتئاز درون پوستی در کاهش مولکول‌های ژلاتین (مخصوصاً زنجیره‌های α و β) دخیل هستند. بازده استخراج ژلاتین از پوست‌ها تقریباً از ۵/۵ تا ۲۱ درصد از وزن

دمای تشکیل ژل ژلاتین ماهی نسبت به ژلاتین پستانداران در کل پایین‌تر است. این تفاوت در ارتباط با ترکیب ایمینواسیدها (هیدروکسی پرولین و پرولین) در ماهی می‌باشد. ژلاتین قابلیت فراوانی برای تشکیل باندهای هیدروژنی با مولکول‌های آب برای تشکیل یک ژل سه‌بعدی پایدار دارد. هیدروکسی پرولین و پرولین مسئول پایداری ساختار مارپیچ سه‌گانه از طریق پیوند هیدروژنی بین مولکول آب آزاد و گروه هیدروکسیل هیدروکسی پرولین در ژلاتین می‌باشند (Fernandez et al., 2003).

هرچه میزان پپتیدهای کوچکتر از زنجیره آلفا، بیشتر باشد زمان تشکیل ژل افزایش می‌یابد (فرحناکی و همکاران، ۱۳۸۸). بنابراین مطابق با نتایج به دلیل کوچکتر بودن پپتیدها از اندازه زنجیره آلفا در ژلاتین ماهی، زمان تشکیل ژل بیشتر از نوع تجاری بود.

ژلاتین، نوعی ژل برگشت‌پذیر با حرارت است به عبارت دیگر وقتی دما به بالای یک نقطه ویژه که نقطه ذوب نامیده می‌شود برسد، شروع به ذوب شدن می‌کند و معمولاً نقاط ذوب برای ژلاتین ماهی بین ۱۱ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Karim and Bhat, 2009). مطابق با تحقیقات برخی محققین دمای ذوب ژلاتین حاصل از پوست حیوانات خون‌گرم و ماهیان آب گرم نسبت به ماهیان آب سرد بیشتر است (Gilsenan and Ross-Murphu, 2000). حضور مقادیر بالای زنجیره‌های آلفا می‌تواند افزایش نقطه ذوب را در این نمونه‌ها تشریح کند. هرچه زنجیره‌های آلفا ۱ و آلفا ۲ بیشتر باشد نقطه ذوب نیز افزایش می‌یابد. بالا بودن نقطه ذوب در ژلاتین با وزن زنجیره مولکولی آن در ارتباط است (Ward et al., 1977). در بررسی نقطه ذوب ژل باید به ترکیب ایمینواسیدی ژلاتین هم توجه داشت. حضور دو اسید آمینه باعث افزایش نقطه ذوب ژل می‌شود. ژل‌های حاصله از ژلاتین تولید شده کلاژن ماهی ضعیف بوده و نسبت به ژلاتین حاصل از کلاژن پستانداران که دارای پرولین و هیدروکسی پرولین بالاتری است نقطه ذوب پایین‌تری دارند (فرحناکی و همکاران، ۱۳۸۸). بر اساس یافته‌های Tavernier (۱۹۸۹) پراکنش گسترده قطعات پپتیدی با وزن مولکولی کم در ارتباط با ویسکوزیته پایین، نقطه ذوب

اولیه مواد خام رتبه‌بندی می‌شود. این اختلاف بستگی به تفاوت ترکیب تقریبی پوست‌ها و مداری از اجزای قابل حل پوست‌ها می‌باشد به‌طوری که این خصوصیات با گونه و سن ماهی‌ها تفاوت دارد. به علاوه تنوع در روش‌های استخراج می‌تواند به تفاوت‌های موجود در محتوی کلاژن ماده خام نسبت داده می‌شود (Songchotikunpan *et al.*, 2008).

تفاوت در میزان بازده ژلاتین می‌تواند ناشی از تفاوت در گونه ماهی، ویژگی‌های ذاتی پوست و مولکول‌های کلاژن، روش آماده‌سازی، شرایط فرایند، محتوی پروتئینی موجود در مواد اولیه، محتوی کلاژن، میزان ترکیبات محلول در پوست، و درجه تبدیل کلاژن به ژلاتین باشد. میزان تبدیل کلاژن به ژلاتین به پارامترهای فرایند (دما، زمان استخراج و pH) شرایط پیش تیمار، شرایط و روش نگهداری مواد اولیه بستگی دارد (Lassoued *et al.*, 2014; Duan *et al.*, 2011; *al.*, 2014). در تایید نتایج به‌دست آمده از تحقیق Jamilah و Harvinder (۲۰۰۲) که خصوصیات ژلاتین استخراج شده از پوست ماهی تیلپیا قرمز را بررسی نمودند، بازده استخراج ژلاتین ماهی تقریباً بین ۶ تا ۱۹ درصد است و دلیل آن را از دست رفتن کلاژن استخراج شده در طی عملیات خیساندن بیان نمودند. همچنین Zhou و Regenstein (۲۰۰۴) بازده استخراج ژلاتین از پوست ماهی پولک را ۱۹ درصد گزارش کردند.

بررسی تغییرات میزان pH پاستیل

نتایج تغییرات میزان pH پاستیل در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، اثر غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی بر pH نمونه‌های پاستیل معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$) و مقایسه

میانگین pH نمونه‌های پاستیل پس از یک روز نگهداری نشان داد با افزایش غلظت ژلاتین ماهی، pH نمونه‌ها کاهش یافت. اختلاف در pH ژلاتین‌ها ممکن است به دلیل نوع و قدرت اسید به‌کار رفته در طول روند استخراج باشد. همچنین به دلیل قرار دادن ماهی با پوست و استخوان در اسید و به دلیل داشتن مواد معدنی بیشتر در استخوان نسبت به گوشت ماهی نیاز به تیمار اسیدی بیشتری وجود دارد بنابراین اختلاف در pH ژلاتین ماهی و ژلاتین گاوی می‌تواند به شرایط استخراج و نوع ماهی متفاوت باشد. همچنین نتایج خواص فیزیکوشیمیایی ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلیکا در مقایسه با ژلاتین تجاری (ذکر شده در جدول ۱)، نشان داد مقدار pH ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلیکا (۵/۹۰۰) مقدار کمتری نسبت به pH ژلاتین تجاری (۶/۸۷۷) داشت و با توجه به افزایش میزان جایگزینی ژلاتین ماهی به جای ژلاتین تجاری مقدار pH نیز کاهش یافت.

در بررسی‌های انجام شده به نتایج مشابهی با نتایج تحقیق سایر محققین بدست آمد. میرزاپور و همکاران (۱۳۹۷) بیان نمودند مقدار pH ژلاتین استخراج شده از فلس و باله ماهی کپور (۶/۱۷) بیشتر از ژلاتین تجاری گاوی (۵/۹۹) بود. همچنین Cheow و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که مقدار pH برای دو ماهی به‌ترتیب ۳/۳۵ و ۴/۸۷ کمتر از ژلاتین گاوی (۵/۴۸) بود و دلیل آن را تحت تاثیر قرار گرفتن pH اسیدی ژلاتین حل شده به وسیله تیمارهای شستشو شده گزارش کردند. Nurlina و همکاران (۲۰۱۹) نیز ویژگی‌های بافتی ژله تهیه شده از ژلاتین ماهی با استفاده از فرایند فشار بالا را بررسی کردند و نتایج نشان داد مقدار pH نمونه‌های ژلاتین ماهی کمتر از ژلاتین تجاری بود و دلیل آن را pH پایین میوه سرخالو در نمونه‌های ژله بیان کردند.

جدول ۳- خواص فیزیکوشیمیایی پاستیل حاوی غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی در اولین روز پس از تولید

تیمار	pH	رطوبت (%)	بریکس	فعالیت آبی
شاهد	۴/۸۳۶±۰/۰۳۷ ^a	۱۱/۶۰۷±۰/۲۴۰ ^e	۴۸/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۰/۸۵۰±۰/۰۰۴ ^e
T ₁	۴/۷۶۰±۰/۰۳۰ ^b	۱۶/۳۵۰±۰/۶۷۵ ^d	۴۷/۶۶۷±۰/۵۷۷ ^{ab}	۰/۸۶۴±۰/۰۰۳ ^d
T ₂	۴/۷۱۶±۰/۰۱۵ ^{bc}	۲۳/۰۹۴±۰/۹۸۸ ^c	۴۷/۳۳۳±۰/۵۷۷ ^{ab}	۰/۸۷۸±۰/۰۰۳ ^c
T ₃	۴/۶۸۳±۰/۰۲۵ ^{cd}	۳۰/۴۲۰±۱/۱۷۶ ^b	۴۷/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{ab}	۰/۸۹۶±۰/۰۰۳ ^b
T ₄	۴/۶۱۶±۰/۰۲۸ ^d	۳۴/۰۵۵±۰/۹۸۱ ^a	۴۶/۶۶۷±۰/۵۷۷ ^b	۰/۹۱۳±۰/۰۰۳ ^a

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

a-e حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

شاهد: ۱۰۰٪ ژلاتین تجاری، T₁: ۷۵٪ ژلاتین تجاری+۲۵٪ ژلاتین ماهی، T₂: ۵۰٪ ژلاتین تجاری + ۵۰٪ ژلاتین ماهی، T₃: ۲۵٪ ژلاتین تجاری + ۷۵٪ ژلاتین ماهی، T₄: ۱۰۰٪ ژلاتین ماهی

بررسی تغییرات میزان رطوبت پاستیل

نتایج تغییرات میزان رطوبت پاستیل در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، اثر غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین

ماهی بر رطوبت نمونه‌های پاستیل معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$) و مقایسه میانگین رطوبت نمونه‌های پاستیل پس از یک روز نگهداری نشان داد با افزایش غلظت ژلاتین ماهی مقدار رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت.

پارامترهای مهم در تعیین کیفیت مواد غذایی است (Xi et al., 2016). ژلاتین هیدروکلوئیدی پروتئینی است که در دماهای بالای ۳۵ تا ۴۵ درجه ساختار پیچیده آن باز و در آب محلول شده و موجب افزایش بریکس می شود (مجاوریان و همکاران، ۱۳۹۷). Nurlina و همکاران (۲۰۱۹) بیان نمودند مقدار مواد جامد محلول کل (بریکس) نمونه های ژله تهیه شده از ژلاتین ماهی با استفاده از فرایند فشار بالا بیشتر از ژلاتین تجاری بود که مغایر نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر بود.

بررسی تغییرات میزان فعالیت آبی پاستیل

نتایج تغییرات میزان فعالیت آبی پاستیل در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، اثر غلظت های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی بر فعالیت آبی نمونه های پاستیل معنی دار ($p \leq 0.05$) بود و مقایسه میانگین فعالیت آبی نمونه های پاستیل پس از یک روز نگهداری نشان داد با افزایش غلظت ژلاتین ماهی مقدار فعالیت آبی نمونه ها افزایش یافت.

هیدروکلوئیدها به دلیل ویژگی های آبدوستی که دارند می توانند با اتصالات آبی در فرآوری مواد غذایی بر محتوی رطوبت و فعالیت آبی نمونه ها تاثیرگذار باشند (خلیلیان و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج به دست آمده از تحقیق نشان داد که مقدار فعالیت آبی نمونه های حاوی ژلاتین ماهی از ژلاتین تجاری بیشتر بود. دلیل این امر می تواند وجود رطوبت بیشتر در ژلاتین استخراج شده در ماهی و شرایط استخراج و استفاده از آن در تولید نمونه های پاستیل باشد. نتایج مشابهی با تحقیق Lewicki (۲۰۰۴) به دست آمد که بیان نمودند ژله های ژلاتینی به خروج مولکول های آب کمک کرده و می تواند باعث افزایش فعالیت آبی نمونه ها شود. بنابراین هنگام ساخت نمونه های پاستیل در این تحقیق رطوبت بیشتر ژلاتین ماهی کاهش یافته و باعث افزایش آب آزاد در نمونه های پاستیل و در نتیجه افزایش فعالیت آبی نمونه ها شده باشد. در حالی که نتایج به دست آمده، مغایر با نتایج بررسی اثر ژلاتین و گوار بر میزان فعالیت آبی پاستیل توت سفید بود که بیانگر کاهش فعالیت آبی نمونه ها با افزایش درصد ژلاتین و گوار بود (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین در سال Pizza و Gigli (۲۰۰۹) طی تحقیقی نشان دادند با افزایش هیدروکلوئیدها، شدت اتصال مولکول های آب افزایش یافته و در نهایت باعث کاهش فعالیت آب نمونه ها می شوند.

بررسی تغییرات رنگ پاستیل

نتایج تغییرات رنگ پاستیل در جدول ۴ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، اثر غلظت های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی بر شاخص های رنگی L^* ، a^* و b^* نمونه های پاستیل معنی دار بود

همچنین نتایج نشان داد بیشترین مقدار رطوبت متعلق به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد ژلاتین ماهی و کمترین آن متعلق به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد ژلاتین تجاری بود. بنابراین ژلاتین استخراج شده از ماهی نسبت به نوع تجاری دارای رطوبت بیشتری بوده و بدیهی است با جایگزینی و افزایش مقدار ژلاتین استخراج شده از ماهی افزایش رطوبت در سایر تیمارها دیده شود.

رطوبت یکی از مهم ترین فاکتورهای بیانگر کیفیت در مواد غذایی است و در نگهداری مواد غذایی و رشد قارچ ها نقش مهمی دارد. ژلاتین حاوی ۸-۱۳ درصد رطوبت است و هنگامی که گرانول های ژلاتین در آب سرد قرار می گیرند باعث تبدیل آنها به ذرات گسسته و متورم هیدراته می شود. مطابق با تحقیقات انجام شده ژلاتین عمدتاً از پروتئین و رطوبت و به همراه مواد دیگری در مقدار بسیار کم نظیر لیپید، خاکستر و دیگر ناخالصی ها تشکیل شده است. با توجه به نتایج این تحقیق (جدول ۱)، مقدار پروتئین ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلکا برابر با ۸۷/۷۳۳ در مقایسه با مقدار ۹۱/۷ برای نوع تجاری بود و درصد باقی مانده متعلق به رطوبت نمونه ها بوده؛ بنابراین رطوبت جذب شده در ژلاتین ماهی بیشتر از نمونه تجاری بوده است. طی تحقیقی میرزاپور و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی و مقایسه خواص کیفی ژلاتین استخراج شده از فلس و باله ماهی کپور با ژلاتین تجاری حلال گاوی پرداخته و بیان نمودند رطوبت و خاکستر ژلاتین استخراج شده بیشتر از نوع تجاری بود که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مشابهت داشت. همچنین نتایج مشابهی با نتایج Choobkar و همکاران (۲۰۱۸) که اثر جایگزینی ژلاتین گاوی با ژلاتین ماهی را بر محتوی معدنی، خواص فیزیکوشیمیایی و پارامترهای رنگی پاستیل پرداختند، به دست آمد. نتایج این محققین نشان داد تیمارهای حاوی ژلاتین ماهی دارای بیشترین مقدار رطوبت نسبت به سایر تیمارهای حاوی ژلاتین تجاری بودند. Nurlina و همکاران (۲۰۱۹) ویژگی های بافتی ژله تهیه شده از ژلاتین ماهی با استفاده از فرایند فشار بالا را بررسی کردند و نتایج نشان داد مقدار رطوبت نمونه های ژلاتین ماهی بیشتر از ژلاتین تجاری بود که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مشابهت داشت.

بررسی تغییرات میزان بریکس پاستیل

نتایج تغییرات میزان بریکس پاستیل در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، اثر غلظت های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی بر بریکس نمونه های پاستیل معنی دار بود ($p \leq 0.05$) و مقایسه میانگین بریکس نمونه های پاستیل پس از یک روز نگهداری نشان داد با افزایش غلظت ژلاتین ماهی مقدار بریکس نمونه ها کاهش یافت. محتوی قند و ترکیبات آلی موجود در مواد غذایی به عنوان مواد جامد محلول شناخته می شود (Curi et al., 2017) و یکی از

ماهی کیلیکا به دلیل تیره گوشت بودن باعث افزایش شاخص‌های a^* و b^* و در نتیجه تیره‌تر شدن نمونه‌ها شد. همچنین مجاوریان (۱۳۹۶) در تحقیقی، استفاده از ژلاتین پای مرغ در تولید پاستیل زنجبیلی با شیرین‌کننده طبیعی را بررسی و نتایج نشان داد افزایش غلظت ژلاتین باعث کاهش میزان روشنایی، قرمزی و زردی نمونه‌ها شد (مجاوریان، ۱۳۹۶). در سال ۲۰۰۷، Cheow و همکاران، به بررسی ویژگی‌های ژلاتین پوست استخراج شده از دوگونه ماهی *Sin crooker* و *Shortfin scad* پرداخته و مشخص گردید که مقدار L^* ماهی *Sin crooker* کمتر از ژلاتین گاوی و شاخص‌های a^* و b^* بیشتر از ژلاتین گاوی بود و برای ماهی *hortfin scad* تمامی شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* از نوع تجاری کمتر بود اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. Porayane و همکاران (۲۰۱۵) افزایش در غلظت ساکارز افزوده شده به ژلاتین منجر به افزایش در مقدار شاخص a^* و b^* گردیده است و افزودن شربت گلوکز اثر مثبت بر روی شاخص L^* و یک اثر منفی بر روی داشته است. از سوی دیگر با افزایش میزان مواد جامد محلول، از شدت شفافیت کاسته می‌گردد. Choobkar و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر جایگزینی ژلاتین گاوی با ژلاتین ماهی را بر محتوای معدنی، خواص فیزیکی‌شیمیایی و پارامترهای رنگی پاستیل گزارش دادند که افزایش مقدار ژلاتین ماهی باعث کاهش شاخص رنگی L^* و افزایش شاخص‌های a^* و b^* شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مشابهت داشت.

بررسی تغییرات ویژگی‌های بافتی پاستیل

نتایج تغییرات ویژگی‌های بافتی پاستیل در جدول ۵ و ۶ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، اثر غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی بر شاخص‌های چسبندگی^۹، پیوستگی^{۱۰}، قابلیت جویدن^{۱۱}، صمغیت^{۱۲}، سختی بافت و تغییر شکل بافت معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود و بر شاخص فنریت^{۱۳} معنی‌دار ($p > 0.05$) نبود. همچنین جداول مقایسه میانگین نشان داد با افزایش غلظت ژلاتین ماهی مقدار تمامی شاخص‌های فوق کاهش معنی‌داری ($p \leq 0.05$) یافت.

مطابق با تحقیقات انجام شده بسیاری از خواص فیزیکی ژلاتین انعکاسی از شرایط زیستی و دمای محیط پیرامون می‌باشد. خواص عملکردی ژلاتین علاوه بر عوامل محیطی تحت تاثیر ویژگی‌های شیمیایی (توزیع وزن مولکولی و ترکیب آمینواسیدی) مولکول ژلاتین

($p \leq 0.05$) و مقایسه میانگین شاخص‌های رنگی نمونه‌های پاستیل پس از یک روز نگهداری نشان داد با افزایش غلظت ژلاتین ماهی مقدار شاخص‌های a^* و b^* افزایش و شاخص L^* کاهش یافت. شاخص L^* بیانگر روشنایی و شفافیت نمونه‌ها (محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید))، شاخص a^* (سبز تا قرمز) و شاخص b^* (آبی تا زرد) (در محدوده ۱۲۰- الی ۱۲۰+) می‌باشند. کاهش شاخص L^* بیانگر تغییر رنگ نمونه‌ها از روشنایی به سمت تیره‌تر شدن و کاهش شاخص a^* طی مدت نگهداری بیانگر تغییر رنگ نمونه‌ها از قرمزی به سبزی می‌باشد و افزایش شاخص b^* بیانگر بیشتر شدن زردی نمونه‌ها در سیستم رنگی b^* ، a^* ، L^* می‌باشد (آزادیان و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج تغییرات روشنایی پاستیل در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، بیشترین روشنایی متعلق به تیمارهای حاوی بیشترین مقدار ژلاتین تجاری بوده است. حضور ژلاتین ماهی در فرمولاسیون پاستیل باعث تیره شدن یا قرمز شدن رنگ نمونه‌ها با توجه به افزایش شاخص‌های a^* و b^* شد. دلیل تغییر رنگ نمونه‌ها می‌تواند به دلیل وجود انواع کاروتنوئید در بافت‌های ماهی (توناکزانتین^۱ (زرد)، لوتئین^۲ (زرد مایل به سبز)، بتاکاروتن^۳ (نارنجی)، دورادگزانتین^۴ (زرد)، زاکزانترین^۵ (نارنجی-زرد)، کتناگزانتین^۶ (قرمز-نارنجی)، آستاگزانتین^۷ (قرمز) و تاراگزانتین^۸ (زرد)) باشد (Dawson and Acton, 2017; Theis et al., 2012).

ماهی کیلیکا جز ماهیان گوشت تیره بوده و باعث تیره‌تر شدن نمونه‌ها می‌شود (مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). فاکتورهایی از قبیل گونه ماهی و مواد خام، مشخصات رنگ ژلاتین تولید شده را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین کدورت و رنگ تیره ژلاتین به دلیل مواد غیر آلی و آلودگی‌هایی است که در طی فرایند استخراج، یا حذف نشده‌اند و یا میزان آن‌ها کاهش نیافته است. رنگ ژلاتین به ماهیت مواد اولیه مورد استفاده و نحوه استخراج ژلاتین بستگی دارد (Levitan et al., 2008). دلیل دیگر اختلاف رنگ نمونه‌های پاستیل حاوی ژلاتین ماهی با ژلاتین تجاری را می‌توان به انجام واکنش قهوه‌ای شدن (مایلارد) نسبت داد (محمودی و توکلی‌پور، ۱۳۹۷). مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) استخراج و تغلیظ پروتئین ماهی کیلیکا به‌عنوان ماهی تیره گوشت و ساردین به‌عنوان ماهی سفید گوشت به روش تغییر pH و سوریمی را بررسی و بیان نمودند

۱ Tunaxanthin

۲ Lutein

۳ Beta carotene

۴ Doradexanthins

۵ Zeaxanthin

۶ Canthaxanthin

۷ Astaxanthin

۸ Taraxanthin

۹ Adhesiveness

۱۰ Cohesiveness

۱۱ Chewiness

۱۲ Gumminess

۱۳ Springiness

نیز قرار می‌گیرد. بنابراین کیفیت ژلاتین برای یک کاربرد خاص بستگی زیادی به خواص رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی آن دارد و نه تنها تحت تاثیر گونه و بافت استخراجی قرار می‌گیرد بلکه شدت شرایط استخراج و فرایندهای پیش تیمار به کار رفته نیز در خواص آن موثر می‌باشد (Rahman et al., 2008; Gimenez et al., 2005).

جدول ۴- بررسی تغییرات رنگ پاستیل حاوی غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی در اولین روز پس از تولید

تیمار	L*	a*	b*
شاهد	۵۷/۱۳۷±۰/۵۴۶ ^a	۱/۵۴۳±۰/۳۵۰ ^e	۱۴/۶۷۷±۰/۰۴۳ ^e
T ₁	۵۱/۶۱۰±۰/۴۹۱ ^b	۵/۷۳۷±۰/۴۸۴ ^d	۲۰/۶۰۷±۰/۸۱۸ ^d
T ₂	۴۸/۲۲۰±۰/۹۱۹ ^c	۸/۶۷۰±۰/۴۸۴ ^c	۲۴/۹۴۳±۰/۶۹۱ ^c
T ₃	۴۴/۵۱۳±۰/۱۴۶ ^d	۱۱/۴۲۷±۰/۴۲۲ ^b	۲۸/۰۳۷±۰/۴۳۲ ^b
T ₄	۳۹/۰۶۳±۰/۳۴۱ ^e	۱۳/۷۲۳±۰/۱۹۴ ^a	۳۱/۲۴۰±۰/۴۵۹ ^a

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

a-e حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

شاهد: ۱۰۰٪ ژلاتین تجاری، T₁: ۷۵٪ ژلاتین تجاری+ ۲۵٪ ژلاتین ماهی، T₂: ۵۰٪ ژلاتین تجاری + ۵۰٪ ژلاتین ماهی، T₃: ۲۵٪ ژلاتین تجاری + ۷۵٪ ژلاتین ماهی، T₄: ۱۰۰٪ ژلاتین ماهی

جدول ۵- تغییرات خواص بافتی (چسبندگی، پیوستگی، فنریت و صمغیت) پاستیل حاوی غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی در اولین روز پس از تولید

تیمار	چسبندگی s(mj)	پیوستگی	فنریت (mm)	صمغیت (N)
شاهد	۰/۴۳۳±۰/۱۱۵ ^a	۰/۸۲۳±۰/۰۱۵ ^a	۴/۹۶۶±۱/۷۴۳ ^a	۵/۴۱۰±۰/۳۹۰ ^a
T ₁	۰/۲۵۰±۰/۰۵۰ ^b	۰/۷۳۰±۰/۰۴۳ ^{ab}	۳/۸۸۳±۰/۰۵۵ ^{ab}	۲/۸۹۶±۰/۱۵۳ ^b
T ₂	۰/۲۰۰±۰/۰۰۰ ^b	۰/۶۵۶±۰/۰۳۷ ^{bc}	۳/۶۳۰±۰/۱۲۱ ^{ab}	۱/۲۰۰±۰/۱۰۰ ^c
T ₃	۰/۱۶۶±۰/۰۵۷ ^b	۰/۵۶۳±۰/۰۶۴ ^c	۳/۴۶۶±۰/۱۰۱ ^{ab}	۰/۲۲۳±۰/۰۴۶ ^d
T ₄	۰/۱۰۰±۰/۰۰۰ ^b	۰/۳۲۳±۰/۰۹۰ ^d	۲/۸۰۰±۰/۱۰۱ ^b	۰/۱۱۶±۰/۰۴۶ ^d

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

a-e حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

شاهد: ۱۰۰٪ ژلاتین تجاری، T₁: ۷۵٪ ژلاتین تجاری+ ۲۵٪ ژلاتین ماهی، T₂: ۵۰٪ ژلاتین تجاری + ۵۰٪ ژلاتین ماهی، T₃: ۲۵٪ ژلاتین تجاری + ۷۵٪ ژلاتین ماهی، T₄: ۱۰۰٪ ژلاتین ماهی

جدول ۶- تغییرات خواص بافتی (قابلیت جویدن، سختی بافت و تغییر شکل سختی بافت) پاستیل حاوی غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی در اولین روز پس از تولید

تیمار	قابلیت جویدن	سختی بافت (N)	تغییر شکل سختی بافت (mm)
شاهد	۲۷/۱۰۰±۱۱/۶۴۰ ^a	۶/۵۹۰±۰/۵۷۵ ^a	۴/۱۰۶±۰/۱۰۶ ^a
T ₁	۱۱/۲۶۷±۰/۳۰۶ ^b	۶/۱۳۰±۰/۴۳۳ ^a	۳/۹۹۶±۰/۰۵۸ ^a
T ₂	۴/۳۰۰±۰/۴۵۸ ^c	۴/۸۱۳±۰/۰۷۲ ^b	۳/۸۰۳±۰/۰۷۵ ^b
T ₃	۰/۶۶۷±۰/۰۵۸ ^d	۳/۴۰۰±۰/۰۱۰ ^c	۳/۶۲۰±۰/۰۴۳ ^b
T ₄	۰/۴۰۰±۰/۱۰۰ ^d	۱/۳۴۳±۰/۰۴۰ ^d	۲/۹۱۳±۰/۰۵۵ ^c

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

a-e حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

شاهد: ۱۰۰٪ ژلاتین تجاری، T₁: ۷۵٪ ژلاتین تجاری+ ۲۵٪ ژلاتین ماهی، T₂: ۵۰٪ ژلاتین تجاری + ۵۰٪ ژلاتین ماهی، T₃: ۲۵٪ ژلاتین تجاری + ۷۵٪ ژلاتین ماهی، T₄: ۱۰۰٪ ژلاتین ماهی

سختی نمونه‌ها می‌تواند مستقیماً به محتوی رطوبت نمونه‌ها در ارتباط باشد به عبارت دیگر کاهش رطوبت باعث تغییر بافت نرم به سخت می‌شود (Delgado and Banon, 2015). بنابراین پارامترهای بافتی از جمله سختی شدیداً به نوع ژلاتین به کار رفته در فرمولاسیون مواد غذایی وابسته است (Kek et al., 2013). همچنین Nurlina و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی ویژگی‌های بافتی ژله تهیه شده از ژلاتین ماهی با استفاده از فرایند فشار بالا، گزارش کردند که پارامترهای بافت سنجی (شامل سختی، پیوستگی، صمغیت، فنریت، چسبندگی و قابلیت جویدن) برای ژلاتین ماهی از ژلاتین تجاری کمتر بود که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مشابهت داشت.

بررسی ارزیابی حسی پاستیل

نتایج تغییرات ویژگی‌های حسی پاستیل در جدول ۶ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، اثر غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی بر شاخص‌های ارزیابی حسی مزه، عطر و بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود همچنین جداول مقایسه میانگین شاخص‌های ارزیابی حسی نشان داد با افزایش غلظت ژلاتین ماهی مقدار امتیازات حسی مزه، عطر و بو، رنگ و پذیرش کلی نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت و تنها تیمار T_2 (حاوی ۵۰ درصد ژلاتین تجاری + ۵۰ درصد ژلاتین ماهی) دارای بافت قابل قبولی نسبت به سایر تیمارها بود.

از نظر تجاری ژلاتین ماهی به صورت انبوه تولید نمی‌شود و دلیل آن خواص رئولوژیکی ضعیف و پایداری کم در مقایسه با ژلاتین پستانداران است. دلیل عدم پایداری و خواص رئولوژیکی ضعیف ژلاتین ماهی نسبت به ژلاتین تجاری، عمدتاً به تعداد پایین نواحی غنی از پرولین و مقادیر پایین ایمینواسیدها (هیدروکسی پرولین و پرولین) در مولکول کلاژن و ژلاتین ماهیان در مقایسه با حیوانات خونگرم مربوط می‌شود (شهبازتبار، ۱۳۹۱). محتوای ایمینواسیدهای پرولین و هیدروکسی پرولین در ژلاتین ماهیان نسبت به ژلاتین حیوانات نظیر خوک که ویسکوالاستیک بهتری از خود نشان می‌دهد کمتر است. بنابراین نسبت به ژلاتین تجاری خصوصیات ویسکوالاستیک ضعیف‌تری از خود نشان می‌دهند. علاوه بر این ژلاتین ماهی محتوی کمتری آلانین دارد و این اسید آمینه معمولاً در نواحی غنی از پرولین و هیدروکسی پرولین دیده می‌شود. محتوی بیشتر این اسیدهای آمینه در ژلاتین تجاری یکی از دلایل اصلی ویسکوزیته بالاتر آنهاست (طاهری و همکاران، ۱۳۸۸). مطابق با تحقیقات Garrido و همکاران (۲۰۱۴)، سختی نمونه‌ها به غلظت ژلاتین بستگی دارد که در تحقیق حاضر غلظت ژلاتین‌های استخراج شده و ژلاتین تجاری برابر بود. همچنین Mahrouqi و Rahman (۲۰۰۹) گزارش کردند محتوی پروتئین بالا باعث باند شدن ساختار بهتر ژلاتین می‌شود. مطابق با نتایج این تحقیق مقدار پروتئین ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلیکا کمتر از ژلاتین تجاری بوده و همین امر می‌تواند باعث کاهش پارامترهای بافت سنجی از جمله سختی باشد.

جدول ۶- تغییرات امتیازات حسی پاستیل حاوی غلظت‌های مختلف ژلاتین تجاری و ژلاتین ماهی در اولین روز پس از تولید

تیمار	مزه	عطر و بو	رنگ	بافت	پذیرش کلی
شاهد	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۳/۶۶۶±۰/۵۷۷ ^{ab}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a
T ₁	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۴/۳۳۳±۰/۵۷۷ ^{ab}	۴/۶۶۶±۰/۵۷۷ ^{ab}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a
T ₂	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۳/۶۶۶±۰/۵۷۷ ^{bc}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^a
T ₃	۳/۶۶۶±۰/۵۷۷ ^b	۴/۳۳۳±۰/۵۷۷ ^b	۳/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^c	۳/۶۶۶±۰/۵۷۷ ^{ab}	۴/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^b
T ₄	۲/۳۳۳±۰/۵۷۷ ^c	۲/۶۶۶±۰/۵۷۷ ^c	۳/۶۶۶±۰/۵۷۷ ^{bc}	۳/۳۳۳±۰/۵۷۷ ^b	۳/۳۳۳±۰/۵۷۷ ^c

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

a-e حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

شاهد: ۱۰۰٪ ژلاتین تجاری، T₁: ۷۵٪ ژلاتین تجاری + ۲۵٪ ژلاتین ماهی، T₂: ۵۰٪ ژلاتین تجاری + ۵۰٪ ژلاتین ماهی، T₃: ۲۵٪ ژلاتین تجاری + ۷۵٪ ژلاتین ماهی، T₄: ۱۰۰٪ ژلاتین ماهی

و b* نشان داد رنگ نمونه‌ها نسبت به نوع تجاری که شفاف است تیره تر شده است و همین امر باعث کاهش امتیاز رنگ از نظر ارزیابان شده است.

رنگ ژلاتین به ماهیت مواد اولیه مورد استفاده و نحوه استخراج ژلاتین بستگی دارد. مطابق با نتایج این تحقیق رنگ نمونه‌ها از نظر ارزیابان با افزایش غلظت ژلاتین ماهی کاهش یافت. از طرفی مطابق با نتایج این تحقیق شاخص‌های رنگ سنجی در سیستم رنگی a^* , L^*

این تحقیق با هدف استخراج ژلاتین از ماهی کیلکا و جایگزینی آن در فرمولاسیون پاستیل با ژلاتین تجاری (گاوی) با درصدهای (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) و مقایسه خواص فیزیکیوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی پاستیل به دست آمده از ژلاتین ماهی با نمونه تجاری (گاوی) انجام گردید. مطابق با نتایج خواص عملکردی شامل دما و زمان مناسب تشکیل ژل ژلاتین، دما و زمان مناسب ذوب ژل در ژلاتین استخراج شده از ماهی مشاهده شد. اثر درصدهای مختلف ژلاتین استخراج شده ماهی بر شاخص‌های pH، رطوبت، بریکس، فعالیت آبی، شاخص‌های رنگی (a^* ، b^* ، L^*)، خواص بافتی (چسبندگی، پیوستگی، صمغیت و قابلیت جویدن) و صفات ارزیابی حسی (مزه، عطر و بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی) معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$). نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌تواند از ژلاتین استخراج شده از ماهی کیلکا در فرمولاسیون پاستیل استفاده نمود و پاستیل با خواص کیفی مطلوب و قابل مقایسه با ژلاتین‌های گاوی متداول تولید نمود. و تنها شاخص‌های ارزیابی حسی به دلیل وجود طعم و بوی ماهی کیلکا باعث کاهش امتیازات ارزیابی حسی شد بنابراین می‌توان با طعم‌دار کردن پاستیل‌های تولیدی ویژگی‌های ضعیف ارزیابی حسی پاستیل تولید شده از ژلاتین ماهی را پوشش داده و از آن در تولید صنعتی ژلاتین استفاده کرد. در مجموع، از ژلاتین ماهی کیلکا می‌توان به عنوان یک منبع اقتصادی و حلال در بسیاری از صنایع، با رویکرد بیوتکنولوژی، به جای ژلاتین گاو استفاده کرد.

رها سازی طعم به طور معنی‌داری با بافت ژل در ارتباط است و ژل‌های ژلاتین به دلیل ایجاد بافت سخت‌تر موجب رهاش کمتر مواد طعمی شده که در مجموع باعث کاهش امتیاز پذیرش کلی در نمونه‌های حاوی مقادیر بالای ژلاتین می‌شود (مجاوریان، ۱۳۹۶). همچنین برای از بین بردن بو، رنگ، طعم نامطلوب ماهی و مواد کلاژنی هیدرولیز نشده معمولاً از کاغذ صافی واتمن، پمپ خلاء، رزین تبادل یونی جهت حذف بوی بد حاصل از آمین و مشتقات آن و تبخیرکننده تحت خلاء جهت بوی نامطبوع ماهی استفاده می‌شود. با این حال بو و طعم ماهی باقیمانده از روش‌های فوق، باعث کاهش امتیازات ارزیابی حسی در تیمارهای حاوی ژلاتین ماهی شده می‌شود و اصلی‌ترین دلیل کاهش امتیازات ارزیابی حسی در ژلاتین‌های ماهی باقی ماندن بو و طعم ماهی در ژلاتین است. عباسی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی جایگزینی بخشی از ژلاتین با صمغ فارسی در فرمولاسیون پاستیل پرداختند و گزارش کردند، افزودن صمغ به نمونه‌ها باعث کاهش شفافیت نمونه‌های پاستیل و در نتیجه کاهش امتیازات ارزیابی حسی نسبت به نمونه شاهد گردید. Hansson و همکاران (۲۰۰۱) طی تحقیقی اظهار داشتند فعالیت آبی و ویسکوزیته از شاخص‌های مهم و تاثیر گذار در آزادسازی ترکیبات معطر در فرمولاسیون پاستیل هستند.

نتیجه گیری

منابع

- Asgahr, A. 1992. Chemical Biochemical Functional and Nutritional Characteristics of Collagen in Food Systems. *Advances in Food Researches Academic Press*, London.
- Abbasi, S., Mohammadi, S. and Rahimi, S. 2011. Replacement of part of gelatin with Persian gum and use of frankincense to produce extruded pastilles. *Biosystem Engineering of Iran*, 42(1), 121-131. [in Persian].
- Abrumand, A. 2007. Oral gelatin production from fish waste. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Garden Products*, 11(1), 409-419. [in Persian].
- Arnesen, J. A. and Gildberg, A. 2006. Extraction of muscle proteins and gelatin from cod head. *Process Biochemistry*, 41, 697-700.
- Azaradian, M., Mousavi Nasab, M. and Yousefi, A.L. 2011. Surimi production and isolated protein from silver carp (molitrix Hypophthalmichthys) and study of changes in color and chemical components of gel samples and their powder. *Iranian Fisheries Scientific Journal*, 20(3), 1-10. [in Persian].
- Azimi, N., Mortazavi, A. and Basiri, S.h. 2014. Effect of different concentrations of guar and gelatin on the moisture content and water activity of fruit pastilles based on white berries, 22nd Iranian Congress of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [in Persian].
- Basiri, S.h. and Shahidi, F. 2017. Investigation of the effect of different amounts of gelatin and guar on sensory, tissue and pastel color characteristics based on white berries. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research Monthly*, 13(1), 1-13 [in Persian].
- Boran, G., Mulvaney, S.J. and Regenstien, J.M. 2010. Rheological properties of gelatin from silver carp skin compared to commercially available gelatins from different sources. *Journal of Food Science*, 75(8), E565-E571.
- Chandra, M. V. and Shamasundar, B.A. 2015. Rheological properties of gelatin prepared from the swim bladders of freshwater fish catla catla. *Food Hydrocolloids*, 48, 47-54.
- Cheow, C.S., Norizah, M.S., Kyaw, Z.Y. and Howell, N.K. 2007. Preparation and characterisation of gelatins from the skins of sin croaker (*Johnius dussumieri*) and shortfin scad (*Decapterus macrosoma*). *Food chemistry*, 101(1), 386-91.

- Choobkar, N., Aghajani, A.R. and Joka, A. 2018. The effect of replacement of cows gelatin by *Cyprinus carpio* skin gelatin on the some mineral contents and color parameters of functional pastill. *Iranian Journal of Aquatic Animal Health*, 4(2), 40-54.
- Curi, P. N., Nogueira, P. V., Almeida, A. B. de, Carvalho, C. dos S., Pio, R., Pasqual, M. and Souza, V. R. 2017. Processing potential of jellies from subtropical loquat cultivars. *Food Science and Technology*, 37(1), 70-75.
- Djagnya, K.B., Wang, Z. and Xu, S.h., 2001. Gelatin: A Valuable Protein for Food and Pharmaceutical Industries: Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41, 481- 492.
- Darvish Motavali, F. 2014. Optimizing the extraction of gelatin from the skin of sturgeon carp (*Hypophthalmichthys nobilis*). Ministry of Science, Research, and Technology - Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources - Faculty of Agriculture and Natural Resources - Master's thesis. [in Persian].
- Dawson, P.L. and Acton, J.C. 2017. Proteins in food processing. In: Impact of protein on food color (ed. by Rickey y. yada). p. 599-638.
- Delgado, P. and Bañón, S. 2015. Determining the minimum drying time of gummy confections based on their mechanical properties. *CyTA-Journal of Food*, 13(3), 329-335.
- Duan, R., Zhang, J., Xing, F., Konno, K. and Xu, B. 2011. Study on the properties of gelatins from skin of carp (*Cyprinus carpio*) caught in winter and summer season. *Food Hydrocolloids*, 25, 368-373.
- Emadi, H. 1993. Biology and Recognition of Caspian Sea Kilkai Fish. *Abzian Journal*, 4(11), 8-13. [in Persian].
- FAO. 2012. World Fisheries and Aquaculture.
- Farahnaki, A., Majzoubi, M. and Mesbahi, Gh. 2009. Characteristics and Applications of Hydrochloroids in Food and Pharmaceuticals, Iran Agricultural Sciences Publishing. [in Persian].
- Fathi, H. 1992. World Apple Market. *World Commodity Market Monthly*, 21, 15-20. [in Persian].
- Fernandez, M.D., Montero, P. and Gómez-Guillén, M.C. 2003. Effect of freezing fish skins on molecular and rheological properties of extracted gelatin. *Food Hydrocolloids*, 17(3), 281-286.
- Garrido, J. I., Lozano, J. E. and Genovese, D. B. 2014. Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 325-332.
- Gilsenan, P.M. and Ross-murphy, S.B. 2000. Rheological characterization of gelatins from mammalian and marine sources. *Food Hydrocolloids*, 14, 191-195.
- Giménez, B., Turnay, J., Lizarbe, M.A., Montero, P. and Gómez-Guillén, M.C. 2005. Use of lactic acid for extraction of fish skin gelatin. *Journal of Food Hydrocolloids*, 19, 941-950.
- Hansson, A., Andersson, J. and Leufvén, A. 2001. The effect of sugars and pectin on flavour release from a soft drink-related model system. *Food Chemistry*, 72(3), 363-368.
- Herati, M., Sharifi, A. and Estiri, S. H. 2016. Optimization of the process of producing unprocessed pastilles from seedless barberry fruit by surface response method. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 9(1), 125-136. [in Persian].
- ISIRI. 1994. Gelatin quality control methods. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.No. 3474. [in Persian].
- ISIRI. 2013. Jelly products - test features and methods. Amendment No. 1, Institute of Standards and Industrial Research of Iran Iranian National Standard. No. 2682. [in Persian].
- Jamilah, B. and Harvinder, K. G. 2002. Properties of gelatins from skins of fish-black tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and red tilapia (*Oreochromis nilotica*). *Food Chemistry*, 77, 81-84.
- Karim, A. A. and Bhat, R. 2009. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 563-576.
- Kek, S. P., Chin, N. L. and Yusof, Y. A. 2013. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food and Bio products Processing*, 91(4), 495-506.
- Kelleher, S.D., Feng, Y., Hultin, H.O. and Livingston, M.B. 2004. Role of initial muscle pH on the solubility of fish muscle proteins in water. *Journal of Food Biochemistry*, 28(4), 279-292.
- Khalilian, S., Shahidi, M., Elahi, M., Mohebbi, M., Sarmad, M. and Roshannejad, M. 2011. Effect of different concentrations of pectin and xanthan on sensory characteristics and water activity of fruit pastilles based on cantaloupe puree, 21st National Congress of Iranian Food Science and Technology, 7-9 Aban, Tabriz University. [in Persian].
- Khazai Pool, E., Shahidi, F., Mortazavi, S. A. and Mohebi M. 2011. The effect of different levels of *Spirulina Platensis* micro-algae and agar and guar hydrocolloids on water activity, texture, color parameters and Overall acceptability of kiwi puree-based fruit pastille. *Food Science and Technology*, 12(48), 47-59.
- Kim, Y. 2005. Development and characterization of gelatin films as active packaging layers. Clemson University, ProQuest Dissertations Publishing, 318-816.
- Korshian, M. and Behnam, R. 2013. Optimization of Physico-Chemical Properties of Gelatin Extracted from the Skin of Colorful Salmon Fish, Second National Conference on Food Science and Technology, Quchan, Islamic Azad University of Quchan. [in Persian].

- Lassoued, I., Jridi, M., Nasri, R., Dammak, A., Hajji, M., Nasri, M. and Barkia, A. 2014. Characteristics and functional properties of gelatin from thornback ray skin obtained by pepsin-aided process in comparison with commercial halal bovine gelatin. *Food Hydrocolloids*, 41, 309-318.
- Levitan, C., Zampini, M., Li, R. and Spence, C. 2008. Assessing the role of color cues and people's beliefs about color-flavor associations on the discrimination of the flavor of sugar-coated chocolates Chemical senses. *Chemical Senses Journal*, 33, 415-423.
- Lewicki, P. P. 2004. Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, 61: 483-495.
- Motalebi A. A., and Seyfzadeh, M. 2011. Effects of whey protein edible coating on bacterial, chemical and sensory characteristics of frozen common Kilka (*Clupeonelladelitula*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 11(1), 132-144.
- Motalebi-Moghanjoghi, A.A., Hashemi, G., Mizani, M., Gharachorloo, M., and Tavakoli, H. R. 2015. The effects of refining steps on Kilk (Clupeonelladelicatula) fish oil quality. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 14(2), 382-392.
- Mahmoudi, P. and Tavakolipoor, H. 2018. Production of fruit pastilles based on kiwi puree using gelatin and guar hydrochlorides and review of the use of date juice as a natural sweetener. *Tarbiat Modares Journal of Food Science and Technology*, 15(74), 235- 249. [in Persian].
- Majaverian, S. P. 2016. Use of chicken leg gelatin in the production of ginger pastilles with natural sweeteners. Food Science and Technology, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Agricultural Engineering. Master Thesis. [in Persian].
- Mehdizadeh, A., Abedi, A. and Ghanbari, M. M. 2016. Extraction and Concentration of Kilk Fish Protein as Dark Meat Fish and Sardin as White Meat Fish by pH and Surimi Method and Comparison of Its Tissue Characteristics. First International Congress and 24th National Congress of Food Science and Technology. Tehran, Tehran Iranian Food Science and Technology, Tarbiat Modares University. [in Persian].
- Mirzapour Koohtasht, A., Mousavi Nasab, M. and Lari, M. A. 2018. Investigation of gelatin properties extracted from ordinary carp waste by enzymatic hydrolysis. *Iranian Journal of Nutritional Sciences and Food Industry*, 13(1), 105-113. [in Persian].
- Mojaverian, S. P., Amiri Raftani, Z. and Shahiri Tabarestani, H. 2018. Optimization of Ginger Pastel Formulation Based on Chicken Foot Gelatin and Grape Concentrate by Answer Level Method. *Journal of Food Science and Technology*, 82(15), 319-334. [in Persian].
- Ninan, G., Abubacker, Z. and Jose, J. 2011a. Physico-chemical and texture properties of gelatins and water gel dessert prepared from the skin of freshwater carp. *Fish Technology*, 48(1): 67-74.
- Ninan, G., Jose, J. and Abubacker, Z. 2011b. Preparation and characterization of gelatin extracted from the skins of ruha (*Labeorohita*) and common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 32(2), 143-162.
- Nurlina, Y., Irwandi, J., Parveen, J. and Jami, M. S. 2019. Texture Profile Analysis (TPA) of the jelly dessert prepared from halal gelatin extracted using High Pressure Processing (HPP). *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(4), 604-608.
- Pirestani, S., Sahari, M.A. and Barzegar, M. 2010. Fatty Acids Changes during Frozen Storage in Several Fish Species from South Caspian Sea. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 12, 321-329.
- Pavan Kumar, D., Elavarasan, K. and Shamasundar, B. A. 2017. Functional properties of gelatin obtained from croaker fish (*Johnius* sp) skin by rapid method of extraction. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(2), 125-129.
- Piazza, L. and Gigli, J. 2009. Multi-scale estimation of water soluble diffusivity in polysaccharide gels. Universita di milano, Italy.
- Porayane, M., Katemake, P. and Duangmal, K. 2015. Effect of gelatin concentrations and glucose syrup to sucrose ratios on textural and optical properties of gelatin gel. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*, 1(1), 26-30.
- Rahman, M.S., Al-Saidi, G.S. and Guizani, N. 2008. Thermal characterisation of gelatin extracted from yellowfin tuna skin and commercial mammalian gelatin. *Journal of Food Chemistry*, 108, 472-481.
- Rahman, M. S. and Al-Mahrouqi, A. I. 2009. Instrumental texture profile analysis of gelatin gel extracted from grouper skin and commercial (bovine and porcine) gelatin gels. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(7), 229-242.
- Ratnasari, I., Sudarminto, S.Y., Nussyam, H., Simon, B. and Widjanarko, E. 2014. Extraction Process Modification to Enhance Properties of Skin Gelatin of pangas catfish (*Pangasius pangasius*). *Food and Public Health*, 4, 140-150.
- Shahbaztabar, S. 2012. Comparison of collagen and gelatin production methods from aquaculture, fisheries-fishery products, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Fisheries and Environment. Master Thesis. [in Persian].

- Silva, R.S.G., Bandeira, S.F. and Pinto, L.A.A. 2014. Characteristics and chemical composition of skins gelatin from cobia (*Rachycentron canadum*). *Food Science and Technology*, 57, 580-585.
- Songchotikunpan, P., Tattiyakul, J. and Supaphol, P. 2008. Extraction and electrospinning of gelatin from fish skin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 42, 247-255.
- Taheri, A., Abedian, A. and Behnam, Sh. 2009. Identification of the components of gelatin derived from the skin and bones of caricature of fish. *Iranian Journal of Fisheries*, 18(4): 125-136. [in Persian].
- Tavernier, B.H. 1989. Molecular mass distribution of gelatin and physical properties. *Photographic Gelatin Proceeding*, 1, 217-228.
- Theis, A., Salzburger, W. and Egger, B. 2012. The function of anal fin egg-spots in the cichlid fish *Astatotilapia burtoni*. *PloS ONE Journal*, 7(1), 29878.
- Trindade, A., Balbinot, E., Weber, C.I. and Tonial, I.B. 2015. Fish Gelatin: Characteristics, Functional Properties, Applications and Future Potentials. *Food Engineering Reviews*, 7, 33-44.
- Ward, A.G. and Courts, A. 1977. *The Science and Technology of Gelatin*. New York: Academic Press.
- Xia, Z., Wu, D., Nie, P. and He, Y. 2016. Non-invasive measurement of soluble solid content and pH in Kyoho grapes using a computer vision technique. *Analytical Methods*, 8(15), 3242-3248.
- Yazdani Dehnavi, M. 2013. Extraction of gelatin from the skin and scales of fish using proteases extracted from the digestive tract of fish. Ministry of Science, Research, and Technology-Shiraz University - Faculty of Agriculture and Natural Resources. Master Thesis. [in Persian].
- Zhou, P. and Regenstein, j.M. 2004. Optimization of extraction conditions for pollock skin gelatin. *Journal of Food Science*, 69, 393-098.



Investigating of production conditions of pastilles by using gelatin extracted from kilika fish and investigating its physicochemical, rheological and sensory properties in comparison with commercial gelatin (cow)

E. Mobini¹, L. Nateghi^{2*}, M. R. Eshaghi³

Received: 2020.06.01

Accepted: 2020.11.12

Introduction: Gelatin is one of the most important biopolymers, widely used in the food, pharmaceutical, cosmetic, and photography. The high demands for Halal food have increased the need for fish gelatin in food applications. Gelatin is a very important biological polymer that is made from the bones, skin and cartilage of animals and is widely used to improve elasticity, consistency and stability in food. Gelatin is different from other hydrocolloids because most of them are polysaccharides, while gelatin is a digestible protein that contains all the essential amino acids except tryptophan, so according to EU law, gelatin is considered a food. Recently, a lot of research has been done to find alternative sources of gelatin obtained from mammals. In the last decade, there has been a strong trend towards gelatin obtained from fish and poultry. Poultry skins and bones are used to make gelatin, but due to low yields, their production is limited on a local scale. In this regard, fish gelatin is a better alternative to mammalian gelatin, although fish gelatin production is not very common at present and accounts for only about 1% of the world's annual gelatin production. The aim of this study was to extract gelatin from Kilka fish and replace it with commercial gelatin (bovine) in pastille formulation with percentages (25, 50, 75 and 100%).

Materials and Methods: To compare physicochemical (pH, humidity, brix and water activity), texture properties (adhesiveness, cohesiveness, springiness, gumminess, chewiness, hardness and deformation of hardness), color indices (L^* , a^* and b^*) and sensory (taste, odor, color, texture and overall acceptance) properties of pastille obtained from fish gelatin. The experiments were performed in a completely randomized design. In this study, 5 treatments with three repetitions were examined. In order to compare the means, Duncan's one-way analysis of variance was used at the 95% confidence level using Minitab software version 16.

Results and Discussion: According to the results of gel formation temperature, gel melting temperature and gel melting time of fish gelatin were lower than commercial gelatin but gel formation time in fish gelatin was higher than commercial gelatin. Also, the extraction efficiency of gelatin from Kilka fish was 9.204%. Effect of different percentages of extracted fish gelatin on pH, moisture, brix, water activity, color indices (L^* , a^* and b^*), texture properties (adhesiveness, cohesiveness, springiness and gumminess) and sensory evaluation (taste, odor, color, texture and overall acceptance) was significant ($p < 0.05$). The results showed that by increasing the replacement of different percentages of fish gelatin, pH, Brix, L^* , all textural histological and sensory evaluation factors decreased and moisture content, water activity and colors a^* and b^* increased. Differences in pH of gelatins may be due to the type and strength of acid used during the extraction process. Also, due to the replacement of fish with skin and bones in acid and due to having more minerals in the bones than fish meat, more acidic treatment is needed. Therefore, the difference in pH of fish gelatin and cow gelatin can be different depending on the extraction conditions and the type of fish. Hydrochlorothiazine gelatin is a protein that, at temperatures above 35 to 45 degrees Celsius, has a complex structure that dissolves in water and increases brix. The results showed that the amount of water activity of samples containing fish gelatin was higher than commercial gelatin, which could be due to the higher moisture content of gelatin extracted in fish and the extraction conditions and its use in the production of pastilles. The presence of Kilka fish gelatin in the pastel formulation caused the samples to get darken or turn red due to the increase in a^* and b^* indicators. The reason for the discoloration of the specimens can be due to the presence of carotenoids in the tissues of fish (tonagazantine (yellow), lutein (yellowish-green), beta-carotene (orange), duragazantine (yellow), zaxanthin (orange-yellow), Contagantine (red-orange), astaxanthin (red), and taragzantine (yellow)). The reason for the instability and poor rheological properties of fish gelatin compared to commercial gelatin is mainly related to the low number of proline-rich regions and low amounts of immunoassides (hydroxyproline and proline) in the collagen and gelatin molecules of fish compared to warm-blooded animals. The content of proline and hydroxyproline amino acids in fish gelatin is lower than in animal gelatin, such as pork, which exhibits better viscoelasticity. Therefore, they show weaker viscoelastic properties than commercial gelatin. In addition, fish gelatin contains less alanine, and this amino acid is commonly found in areas rich in proline and hydroxyproline. Most of these amino acids in commercial gelatin are one of the main

1, 2 and 3. MSc Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
(Corresponding Author E-mail: leylanateghi@yahoo.com)

reasons for their higher viscosity. The release of flavor is significantly related to the texture of the gel, and gelatin gels, due to the harder texture, release less flavor, which in turn reduces the overall acceptance score in samples containing high amounts of gelatin. Watman's filter paper, vacuum pump, ion exchange resin are commonly used to remove odors and derivatives, and vacuum evaporators are used to eliminate the unpleasant odor of fish in order to eliminate odors, dyes, unfavorable fish flavors, and unstressed collagen. However, the smell and taste of the remaining fish of the above methods reduce the sensory evaluation scores in treatments containing fish gelatin, and the main reason for the decrease in sensory evaluation scores in fish gelatins is the persistence of fish odor and taste in gelatin.

T₂ treatment (containing 50% fish gelatin + 50% commercial gelatin) was selected as superior treatment because of its proximity to control, physicochemical, rheological and sensory evaluation. In general, the results showed that using different percentages of gelatin extracted from Kilka fish had no adverse effect on the physicochemical and rheological properties of pastille and only sensory evaluation reduced due to the taste and odor of Kilka fish. The taste of pastilles produced covered the poor sensory evaluation properties of fish pastels produced from gelatin and used in industrial gelatin production.

Keywords: Pastille, Gelatin, Kilka Fish, Commercial gelatin.



مقاله پژوهشی

پایداری فعالیت آنتی اکسیدانی محصول هیدرولیز پروتئین عدس در برابر تیمارهای

حرارتی و pH

رکسانا علیزاده فیروزه^۱ - مهتا میرزایی^{۲*} - وجیهه فدایی نوغانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۲

چکیده

در این تحقیق از آنزیم آلکالاز تحت شرایط کنترل شده (نسبت آنزیم به سوبسترا ۹۰ آنسون/ کیلوگرم پروتئین، دمای ۵۵ درجه سانتی گراد، یک ساعت) برای هیدرولیز پروتئین عدس (*Lens esculinaris*) استفاده شد. پیشرفت هیدرولیز آنزیمی با روش OPA و فعالیت آنتی اکسیدانی با روش های مهار رادیکال های DPPH و ABTS ارزیابی شدند. در ادامه اثر حرارت دهی (دماهای ۳۷، ۵۰، ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ تا ۶۰ دقیقه)، ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه و اثر pH (۲، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ به مدت ۱ ساعت) بر پایداری فعالیت آنتی اکسیدانی محصول هیدرولیز پروتئین عدس بر پایه مهار رادیکال های DPPH و ABTS بررسی شد و میزان گروه های آمین آزاد، با روش OPA ارزیابی گردید. نتایج نشان دادند حرارت دهی در دماهای ۳۷، ۵۰، ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه به ترتیب ۱/۲۵، ۴/۹، ۱۷/۱۰ درصد کاهش در فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH ($P < 0.05$) و ۳/۸، ۶/۸ و ۹ درصد کاهش در فعالیت مهار رادیکال ABTS ($P < 0.05$) را موجب شد. علاوه بر آن در تمام تیمارهای حرارتی با افزایش زمان، اثر تیمارهای حرارتی تشدید شد. نتایج ارزیابی میزان گروه های آمین آزاد نیز نشان دهنده کاهش معنی دار ($P < 0.05$) در میزان گروه های آمین آزاد در محصول هیدرولیز پروتئینی بود. نتایج اثر تیمارهای pH بر پایداری پپتیدها نیز نشان داد که هر دو شرایط pH اسیدی و قلیایی باعث کاهش معنی دار ($P < 0.05$) در فعالیت آنتی اکسیدانی پپتیدها گردید. به طوریکه در pH=۲ افت ۱۶ درصدی و pH=۱۱ افت ۲۹/۲ درصد و در فعالیت مهار رادیکال DPPH در pH ۲ افت ۱۶ درصدی در pH ۱۱ و ۱۸/۲ درصد افت در فعالیت مهار رادیکال ABTS مشاهده شد.

واژه های کلیدی: پایداری، پروتئین عدس، تیمار حرارتی، تیمار pH، فعالیت آنتی اکسیدانی، محصول هیدرولیز پروتئینی.

مقدمه

استفاده بهینه از محصولات هیدرولیز پروتئینی حاوی پپتیدهای زیست فعال، به عنوان ترکیبات فراسودمند و سلامتی بخش در فرمولاسیون مواد غذایی و تولید در مقیاس صنعتی به عواملی چون سازگاری با ماتریس های مختلف غذایی، دسترسی زیستی و پایداری آنها بستگی دارد (Abdul- Hamid et al., 2002). عواملی نظیر تیمار حرارتی و تغییرات pH از تیمارهای رایج در صنایع غذایی می باشند و از طرفی بر اساس مطالعات قبلی جزء عوامل مهم تاثیرگذار بر پایداری پپتیدهای زیست فعال می باشند (Rao et al., 2012; Lai et al., 2016).

محصولات هیدرولیز پروتئینی دارای ویژگی های متفاوتی نظیر فعالیت آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد فشار خون می باشند که تحت تاثیر عواملی نظیر نوع اسیدهای آمینه، طول زنجیره پپتیدی و توالی اسیدهای آمینه قرار می گیرند (Maqsoudlou et al., 2019). آنتی اکسیدان های سنتزی مقرون به صرفه هستند و کارایی بالایی

امروزه مصرف کنندگان به دلیل حفظ و ارتقا سلامت فردی، تمایل زیادی به مصرف فرآورده هایی دارند که به سلامت آنها کمک نموده و باعث پیشگیری از بروز برخی بیماری ها از جمله دیابت، سرطان، فشارخون می گردد (Jian et al., 2007). تغذیه یکی از عوامل مهم در حفظ سلامت بشر می باشد. بنابراین تغذیه نامناسب می تواند اثرات منفی بر سیستم ایمنی بدن داشته باشد. تنوع محصولات غذایی فرآوری شده در طول قرن گذشته، به همراه نیاز به محصولات غذایی ایمن تر، راحت تر و متنوع تر، به طور نمایی افزایش پیدا کرده است (Mine et al., 2010). در این میان حبوبات از جمله عدس از منابع غذایی سرشار از پروتئین هستند که دارای پتانسیل بالایی برای تولید محصولات هیدرولیز پروتئینی حاوی پپتیدهای زیست فعال می باشند (de Castro et al., 2015). پپتیدهای زیست فعال اجزای پروتئینی خاص و ویژه ای می باشند که جرم مولکولی آنها کمتر از ۶۰۰۰ دالتون و معمولاً دارای ۲-۲۰ اسید آمینه در توالی خود هستند (Mendis et al., 2005).

(* - نویسنده مسئول: Email: mahtam86@gmail.com)

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجو کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

شد. سپس نمونه به منظور غیرفعال شدن آنزیم در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. سپس به منظور حذف رسوبات احتمالی نمونه سانتریفوژ ($\times g$ ۵۰۰۰، به مدت ۱۵ دقیقه) و دمای یخچال نگهداری شد (Ovissipour et al., 2009).

تیمار حرارتی

تیمار حرارتی به مدت ۱۵ دقیقه در دماهای ۳۷، ۵۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. از طرف دیگر اثر متقابل دما و زمان نیز اندازه‌گیری شد. بر این اساس نمونه‌ها در دماهای ۳۷، ۵۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند سپس نمونه‌برداری در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه انجام شد. سپس بعد از سرد شدن نمونه‌ها به منظور حذف رسوبات سانتریفوژ ($\times g$ ۵۰۰۰، به مدت ۱۵ دقیقه) انجام شد، فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی براساس وزن یکسان از پروتئین در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Escudero et al., 2014).

تیمار pH

نمونه پروتئین هیدرولیز شده تحت pHهای مختلف ۲، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ به مدت ۱ ساعت قرار گرفت و بعد از تنظیم pH در میزان خنثی و سانتریفوژ کردن نمونه، پایداری فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی مورد بررسی قرار گرفت. در مقالات مشابه دیگری نیز برای بررسی پایداری پپتیدها از همین روش استفاده شده است. (Zhu et al., 2014؛ Wong et al., 2019).

اندازه‌گیری پروتئین محلول

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین محلول در نمونه‌های مورد آزمون، از روش لوری استفاده شد. در روش لوری، محلول A از ترکیب ۱ سی‌سی سولفات مس (۱٪)، ۱ سی‌سی سدیم پتاسیم‌تارتارات (۲٪)، ۴۹ سی‌سی سود ۰/۱ نرمال و ۴۹ سی‌سی کربنات سدیم ۲٪ تهیه شد. در زمان آزمایش، ۵۰۰ میکرولیتر از نمونه پروتئینی با ۲/۵ سی‌سی از محلول (ریجنت) A مخلوط شد و بلافاصله ورتکس و ۱۰ دقیقه در شرایط تاریکی و در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس ۲۵۰ میکرولیتر محلول فولین رقیق شده (به نسبت ۱:۱ با آب) به هر نمونه اضافه و بلافاصله ورتکس شد. بعد از گذشت ۲۰ دقیقه میزان جذب نور در طول موج ۷۳۴ نانومتر خوانده شد. مقدار پروتئین نمونه‌ها بر اساس منحنی استاندارد BSA^۱ و بر حسب میلی‌گرم/ میلی‌لیتر گزارش شد (Lowry et al., 1951). به منظور رسم منحنی استاندارد از پروتئین BSA استفاده شد. ابتدا رقت‌های مختلف (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰

دارند. با این حال، استفاده از آنها در مواد غذایی، به دلیل خطرات احتمالی و سمی بودن آن‌ها در داخل بدن، محدود یا ممنوع شده است. بنابراین استفاده از آن‌تی‌اکسیدان‌های با منشأ طبیعی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در تحقیق حاضر پایداری خاصیت آن‌تی‌اکسیدانی محصول هیدرولیز پروتئین عدس در شرایط تغییرات تیمار حرارت و pH مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

عدس^۱ از بازار محلی تهیه شد، آنزیم آلکالاز با فعالیت Au/kg protein ۲/۴ از شرکت نوونزایم^۲ (دانمارک)، ۱-۱ دی فنیل-۲-پیکریل هیدرازیل (DPPH^۳)، ۲ و ۲ آزینو بیس ۳-اتیل بنزوتیازولین - ۶ سولفونیک‌اسید (ABTS) (۴) از شرکت سیگما (آمریکا) و سرم آلبومین گاوی (BSA) (۵)، لوسین، ارتوفتال دی‌آلدئید (OPA)، سولفات مس، سدیم تترابورات، سود سوزآور، معرف فولین و سدیم پتاسیم تارتارات از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

تهیه ایزوله پروتئین از دانه عدس

دانه عدس (واریته *Lens esculinaris*) از بازار محلی تهیه شد و توسط آسیاب برقی آرد شد. سپس به منظور تهیه ایزوله پروتئینی ابتدا ۲۰۰ گرم آرد با ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط گردید. سپس pH در ۹ با استفاده از سود ۰/۱ مولار تنظیم و سپس مخلوط به مدت ۱ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد همزده و در $\times g$ ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ (Raymandt.N.Co)، آلمان) و فاز رویی جمع‌آوری شد. pH فاز رویی با اسید هیدروکلریک ۱ مولار در ۴/۳ تنظیم و مخلوط در $\times g$ ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه، در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. در انتها رسوب‌ها جمع‌آوری شدند و مجدداً در آب به صورت سوسپانسیون درآمده و برای هیدرولیز آنزیمی در شرایط سرما نگهداری شد (de Castro et al., 2015).

هیدرولیز ایزوله پروتئین دانه عدس

به منظور هیدرولیز آنزیمی، به ایزوله پروتئینی آماده شده (pH با استفاده از بافر فسفات ۵ میلی‌مولار در مقدار ۸ تنظیم شد)، آنزیم آلکالاز (با فعالیت ۲/۴ آنسون بر میلی‌لیتر) اضافه شد. برای این منظور نسبت آنزیم به سوبسترا ۹۰ آنسون/ کیلوگرم پروتئین در نظر گرفته شد و سپس هیدرولیز آنزیمی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت در انکوباتور شیکردار (Comecta، اسپانیا) با دور rpm ۱۲۰ انجام شد. نمونه‌برداری در فواصل زمانی صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۲۰ دقیقه انجام

4 2,2-azinobis 3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid
5 Bovin serum albumin
6 .Bovin serum albumin

1 *Lens esculinaris*
2 lenox company
3 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

به همین طریق تهیه شد با این تفاوت که به جای نمونه از آب مقطر استفاده شد. درصد مهارکنندگی رادیکال ABTS بر اساس فرمول زیر و به ازای وزن مشخص از پروتئین گزارش شد (Aleman et al., 2011).

$$(2) \quad \text{کنترل} = \left(\frac{\text{جذب کنترل}}{\text{جذب نمونه}} \right) \times 100$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمامی آزمون‌ها در سه تکرار، انجام شدند. رسم نمودارها و آنالیز آماری (به روش One-way ANOVA, Two-way ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها توسط تست Turkey's multiple و به کمک نرم افزار graphpad prism 8 انجام شد. برای بررسی معنی دار بودن تفاوت بین میانگین‌ها از تجزیه واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان پروتئین استخراج شده از دانه عدس

میزان پروتئین کل اندازه‌گیری شده از دانه عدس (۲۰۰ گرم پودر عدس در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به روش کلدال برابر ۲۴/۶٪ براساس میزان ازت کل و به ازای وزن خشک اندازه‌گیری شد. پیش از این Urbano و همکاران (۲۰۰۷) بیان داشتند که عدس غنی از پروتئین، کربوهیدرات، موادمعدنی و غیره می‌باشد که بر این اساس آن‌ها میزان پروتئین کل عدس را ۲۰-۳۱٪ به ازای وزن خشک و میزان ازت کل گزارش کردند (Urbano et al., 2007). این میزان با محتوای پروتئینی نمونه مورد آزمایش در این تحقیق مطابقت داشت.

هیدرولیز آنزیمی ایزوله پروتئین عدس

نتایج مربوط به میزان محتوای گروه‌های آمین آزاد در طی زمان‌های مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد، میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه هیدرولیز شده به وسیله آنزیم آلکالاز از همان دقایق ابتدایی روند افزایشی داشته است و از ۲/۸۷ میکرومول لوسین / میلی‌گرم پروتئین در دقیقه صفر به ۳۳/۶۶ میکرومول لوسین / میلی‌گرم پروتئین در دقیقه ۶۰ رسیده است. سپس با ادامه فرایند هیدرولیز تا دقیقه ۱۸۰ روند ثابتی را طی کرده است. نتایج نشان می‌دهند که میزان آنزیم و سوبسترای پروتئینی بر پیشرفت هیدرولیز آنزیمی تاثیر می‌گذارند. بنابراین بعد از مدت زمان مشخص آنزیم با کمبود سوبسترا مواجه می‌شود و بنابراین سرعت پیشرفت هیدرولیز آنزیمی کند می‌شود. آنزیم آلکالاز در پیشرفت هیدرولیز آنزیمی نقش موثری دارد. محققین مختلف دلیل این امر را توانایی بالای آنزیم آلکالاز بیان داشتند. آنزیم آلکالاز توانایی بالایی در شکستن

۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکروگرم / میلی‌لیتر) تهیه و با استفاده از روش لوری میزان پروتئین محلول محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان گروه‌های آمین آزاد به روش OPA

محلول ارتو فتال آلدئید از ترکیب ۲۵ سی سی سدیم تترابورات (۱۰۰ میلی مولار)، ۲/۵ سی سی سدیم دسیل سولفات (۲۰٪)، ۴۰ میلی گرم ماده ارتو فتال آلدئید در ۵۰۰ میکرولیتر متانول و ۱۰۰ میکرولیتر بتامرکاپتواتانول با آب مقطر به حجم ۵۰ سی سی به صورت تازه و روزانه تهیه شد. در زمان آزمایش، ۲۵ میکرولیتر از نمونه پروتئینی با یک سی سی از محلول تهیه شده مخلوط شد و بلافاصله ورتکس و ۲ دقیقه در دمای اتاق در مکان تاریک نگهداری شد. سپس ۱ سی سی آب مقطر اضافه شد و جذب نمونه‌ها در ۳۴۰ نانومتر قرائت گردد. منحنی استاندارد لوسین با غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴ میلی گرم / میلی لیتر ترسیم سپس با استفاده از منحنی استاندارد لوسین با ضریب همبستگی ۰/۹۹ مقدار گروه‌های آمین آزاد براساس میکرومول لوسین به ازای میلی گرم پروتئین گزارش شد (Church et al., 1983).

اندازه‌گیری فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی بر اساس مهار رادیکال DPPH، ۲۰۰ میکرولیتر از هر نمونه (۱۰ میلی گرم در میلی لیتر) با ۱۸۰۰ میکرولیتر محلول ۰/۰۰۲٪ DPPH در اتانول ۹۹/۵ درصد مخلوط شد. سپس مخلوط واکنش در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. سپس جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر با روش طیف‌سنجی اندازه‌گیری شد. نمونه کنترل نیز به همین طریق تهیه شد با این تفاوت که به جای نمونه از آب مقطر استفاده شد. درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH بر اساس فرمول زیر و به ازای وزن مشخصی از پروتئین گزارش شد (Brand-Williams et al., 1995).

$$(1) \quad \text{فعالیت مهارکنندگی رادیکال} = \left(\frac{\text{جذب کنترل}}{\text{جذب نمونه}} \right) \times 100 = \text{درصد}$$

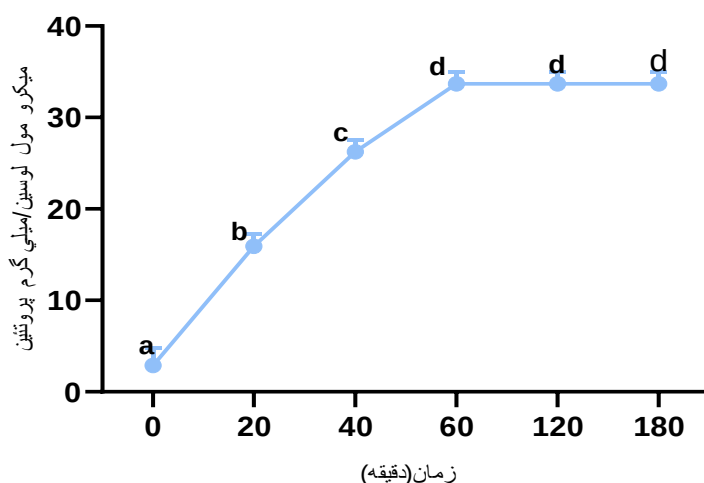
اندازه‌گیری فعالیت مهارکنندگی رادیکال ABTS

ابتدا محلول استوک رادیکال ABTS از ABTS (۷ میلی مولار) با پرسولفات پتاسیم (۲/۴۵ میلی مولار) تهیه و در دمای یخچال برای مدت ۱۶-۱۷ ساعت، نگهداری شد. سپس حجمی از محلول استوک (محلول سبز آبی) با بافر فسفات (۵ میلی مولار، pH=۷) تا رسیدن به میزان جذب ۰/۲±۰/۰۷ در طول موج ۷۳۴ نانومتر رقیق شد. ۲۵ در ادامه ۲۵ میکرولیتر از نمونه (غلظت محلول پروتئینی ۰/۸۶ میلی گرم / میلی لیتر) با ۱ سی سی معرف ABTS مخلوط شد و بعد از ۶ دقیقه نگهداری در دمای اتاق میزان جذب در ۷۳۴ نانومتر اندازه‌گیری شد. نمونه کنترل نیز

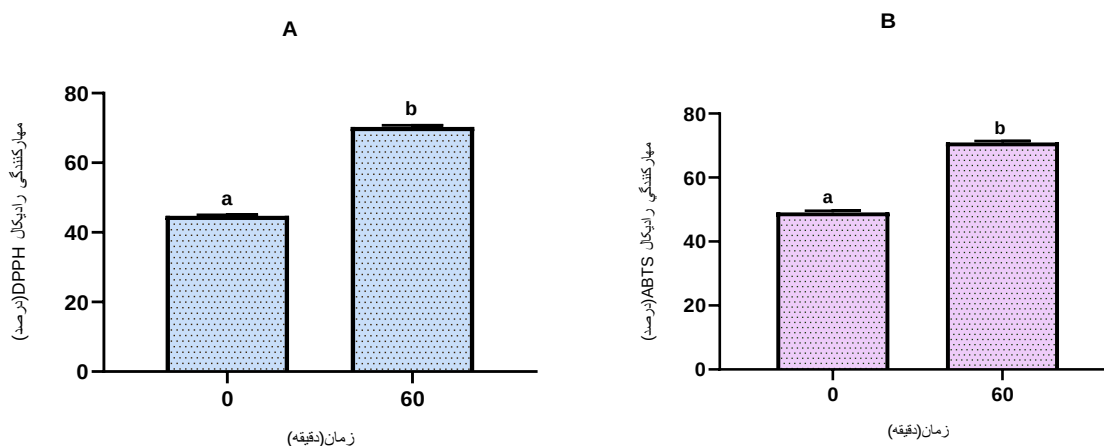
اتصالات پپتیدی بین اسیدآمینه‌های هیدروفوب را دارد. (رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی محصول هیدرولیز پروتئین عدس

بعد از بررسی اثر هیدرولیز آنزیمی بر میزان گروه‌های آمین آزاد اینبار فعالیت آنتی‌اکسیدانی محصول هیدرولیز پروتئین عدس در شروع و پایان مرحله هیدرولیز آنزیمی (بر اساس مهار رادیکال‌های DPPH و ABTS) بررسی شد و نتایج در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۱- بررسی هیدرولیز آنزیمی پروتئین عدس به وسیله آنزیم آلکالاز در طی زمان‌های مختلف با روش OPA. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار ($p < 0.05$) بین داده‌ها است.

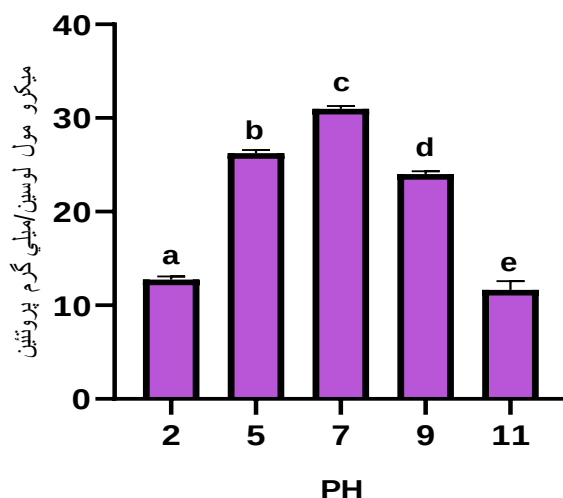


شکل ۲- بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی محصول هیدرولیز پروتئین عدس براساس مهار رادیکال‌های DPPH و ABTS در طی زمان‌های صفر و ۶۰ دقیقه.

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار ($p < 0.05$) بین داده‌ها است.

بررسی اثر pH بر پایداری پپتیدها اثر pH بر محتوای گروه‌های آمین آزاد در محصول هیدرولیز پروتئینی

بعد از تولید محصول هیدرولیز پروتئینی با فعالیت آنتی اکسیدانی قابل قبول، پایداری آنها تحت تیمار pH مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا اثر این تیمار بر محتوای گروه‌های آمین آزاد بررسی شد. نتایج در شکل ۳ گزارش شده است. همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در pH ۷ بالاترین میزان گروه‌های آمین آزاد اندازه‌گیری شد.



شکل ۳- بررسی اثر pH های ۲، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ (به مدت ۱ ساعت در دمای محیط) بر محتوای گروه‌های آمین آزاد حاصل از هیدرولیز آنزیمی پروتئین عدس

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار ($p < 0.05$) بین داده‌ها است.

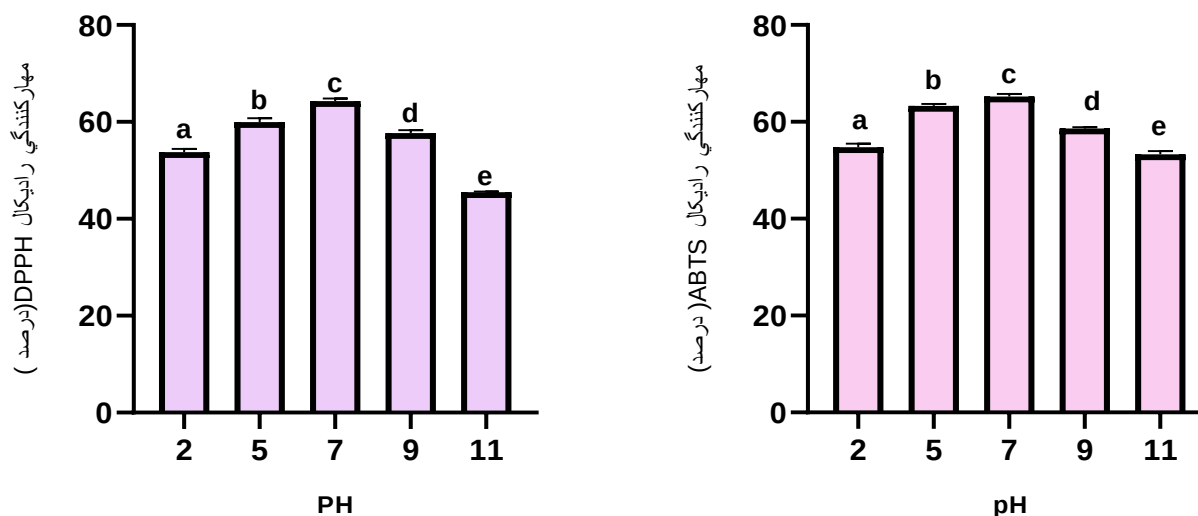
فعالیت پپتیدهای آنتی اکسیدانی حاصل از پروتئین عدس تحت تیمارهای مختلف pH بر اساس دو مکانیسم مهارکنندگی رادیکال‌های ABTS و DPPH مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس نمونه‌ها در pH ۷ بالاترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی را نشان دادند و میزان فعالیت مهار رادیکال DPPH مقدار ۶۴/۲۸ درصد اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که در شکل ۴ قسمت (A) مشاهده می‌شود قرار گرفتن نمونه‌ها به مدت یک ساعت در شرایط pH های اسیدی و قلیایی سبب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پپتیدها بر اساس مهار رادیکال DPPH شده است. به‌طوریکه مقدار آن در pH های اسیدی ۵ و ۲ به‌ترتیب به مقادیر ۵۹/۹۵ و ۵۳/۷۷ و در pH های قلیایی ۹ و ۱۱ به‌ترتیب به مقادیر ۵۷/۷۰ و ۴۵/۵۰ رسید. بنابراین میزان افت در فعالیت مهار رادیکال DPPH در نمونه‌های قرار گرفته به مدت یک ساعت در شرایط pH ۲ و ۱۱ به‌ترتیب ۱۶/۳ و ۲۹/۲ درصد محاسبه شد.

بنابراین بر اساس مطالعات قبلی حدس زده می‌شود که ظرفیت مهارکنندگی محصولات هیدرولیز پروتئینی می‌تواند تحت تاثیر عواملی نظیر اندازه، میزان اسیدآمینه‌های آبگریز و غلظت مواد اهداکننده الکترونی در محصول هیدرولیز پروتئینی باشد (Liu et al., 2017). علاوه بر آن نتایج نشان دادند که میزان مهار رادیکال ABTS به‌طور معناداری بالاتر از میزان مهار رادیکال DPPH بود. محققان دلیل این تفاوت را حلالیت و انتشار پپتیدها در محیط واکنش و همچنین واکنش‌پذیری بیشتر رادیکال‌های ABTS با ترکیبات آنتی اکسیدان در مقایسه با رادیکال‌های DPPH عنوان کردند (Bamdad et al., 2011).

به‌طوری که مقدار آن ۳۰/۹۷ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین اندازه‌گیری گردید. سپس قرار گرفتن به مدت یک ساعت در شرایط pH های اسیدی و قلیایی باعث کاهش محتوای گروه‌های آمین آزاد بطور معناداری در نمونه پروتئینی شد ($p < 0.05$). به‌طوری که مقدار آن در pH های ۵ و ۲ به‌ترتیب به مقادیر ۲۶/۲۵ و ۱۲/۷۶ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین و در pH های ۹ و ۱۱ به‌ترتیب به مقادیر ۲۴/۰۰ و ۱۱/۶۴ میکرومول لوسین/ میلی گرم پروتئین رسید.

اثر تغییرات pH بر فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های DPPH و ABTS در محصول هیدرولیز پروتئینی

بعد از بررسی اثر تغییرات pH بر محتوای گروه‌های آمین آزاد در مرحله دوم اثر تغییرات pH بر فعالیت آنتی اکسیدانی بر اساس میزان مهارکنندگی رادیکال DPPH و ABTS در محصول هیدرولیز پروتئینی مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۴- بررسی اثر pH های ۲، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ (به مدت ۱ ساعت در دمای محیط) بر فعالیت آنتی اکسیدانی (مهار رادیکالهای ABTS و DPPH) و پایداری پپتیدهای آنتی اکسیدان حاصل از پروتئین عدس. حروف غیرمشابه نشان دهنده اختلاف آماری معنادار ($p < 0.05$) بین داده ها است.

(چرخش مولکولها خلاف همدیگر) است. در شرایط قلیایی احتمالاً واکنشهای راسمیک شدن رخ می دهد. احتمالاً هنگامی که پپتیدها در شرایط قلیایی قرار داشته باشند، واکنش راسمیک شدن رخ می دهد. یکی دیگر از دلایل از بین رفتن فعالیت می تواند نتیجه واکنش deamidation باشد. در مقادیر بالاتر pH و در نتیجه تغییر در ساختار و ترکیب و از بین رفتن فعالیت آنتی اکسیدانی ایجاد می شود. احتمال سوم این است که انرژی فعال سازی تخریب پپتید با تغییر pH متفاوت است. به طور کلی، هر پپتید دامنه pH مناسب خود را دارد. در طول این محدوده pH، ساختار و همچنین فعالیت آنتی اکسیدانی نسبتاً پایدار است (Zhu et al., 2014).

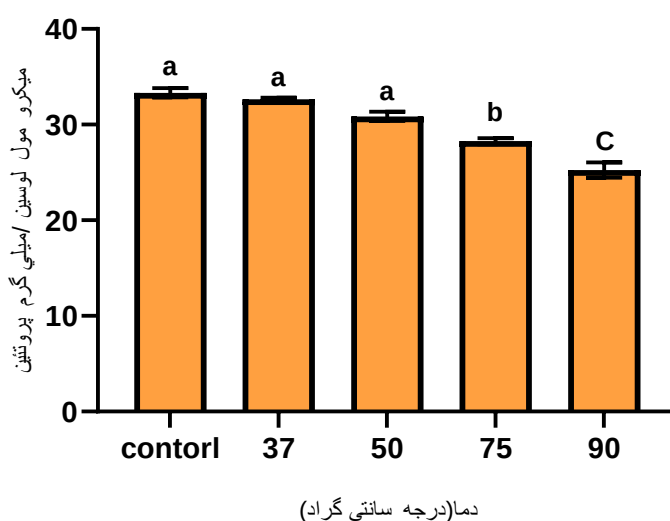
بررسی اثر حرارت بر پایداری پپتیدها

بررسی اثر تیمار حرارتی بر محتوای گروه های آمین آزاد در

محصول هیدرولیز پروتئینی

نمونه های پروتئینی تهیه شده از مراحل قبل، بعد از فرآیند هیدرولیز آنزیمی مطابق فصل مواد و روش ها تحت تیمارهای حرارتی (دماهای ۳۷، ۵۰، ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه و ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه) قرار گرفتند. به منظور بررسی اثر تیمارهای حرارتی بر فعالیت آنتی اکسیدانی پپتیدها در گام نخست اثر هر یک از تیمارهای حرارتی را بر میزان محتوای گروه های آمین آزاد در محصولات هیدرولیز پروتئینی مورد بررسی قرار گرفت.

همانگونه که در شکل ۴ قسمت (B) مشاهده می شود نمونه ها در pH ۷ با مقدار ۶۵/۲۰ درصد، بالاترین تاثیر را در مهار رادیکال آزاد ABTS را نشان دادند. سپس قرار گرفتن نمونه ها در pH های اسیدی و قلیایی سبب کاهش فعالیت پپتیدهای آنتی اکسیدان (بر اساس مهار رادیکال آزاد ABTS) به طور معناداری شده اند ($p < 0.05$). بر این اساس فعالیت پپتیدهای آنتی اکسیدان (مهار رادیکال آزاد ABTS) در pH های ۵، ۹، ۲ و ۱۱ به مقادیر ۵۳/۳۰، ۵۴/۷۶، ۵۸/۶۰، ۶۳/۲۸ رسید. بنابراین افت ۳، ۱۰، ۱۶ و ۱۸ درصدی در میزان فعالیت آنتی اکسیدانی بر حسب مهار رادیکال ABTS در pH های ۵، ۹، ۲ و ۱۱ محاسبه شد. اعتقاد بر این است که پروتئین ها از ترکیبات حساس به تغییر pH بوده و از میزان فعالیت این ترکیبات در pH های بسیار بالا یا پایین کاسته شده و ممکن است دچار تغییر حالت یا غیرفعال شدن دائمی شوند. با توجه به ماهیت پروتئینی پپتیدها، می توان کاهش نسبی در پایداری پپتیدها و یا کاهش یا افزایش شدید در pH را با تجمع زیاد بارهای همانم در این محدوده از pH و تاثیر این تجمع بر ساختمان پپتید مرتبط دانست (Nalinanon et al., 2011). Kentnawa و همکاران (۲۰۱۷) دلیل این امر را تخریب در قطعات پپتید در اثر pH اسیدی یا قلیایی بیان داشتند (Kentnawa et al., 2017). Zhu و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی که بر ژامبون جینوها انجام دادند، گزارش کردند که عوامل مختلفی وجود دارد که باعث از بین رفتن فعالیت آنتی اکسیدانی در شرایط قلیایی می شود. یکی از دلایل بروز واکنش راسمیک شدن



شکل ۵- بررسی اثر تیمارهای حرارت دمای ۳۷ درجه سانتی گراد، ۵۰ درجه سانتی گراد و ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه و دمای ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه بر میزان گروه‌های آمین آزاد در محصول هیدرولیز پروتئین عدس و مقایسه با نمونه کنترل (دارای آنزیم فاقد تیمار

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار ($p < 0.05$) بین داده‌ها است.

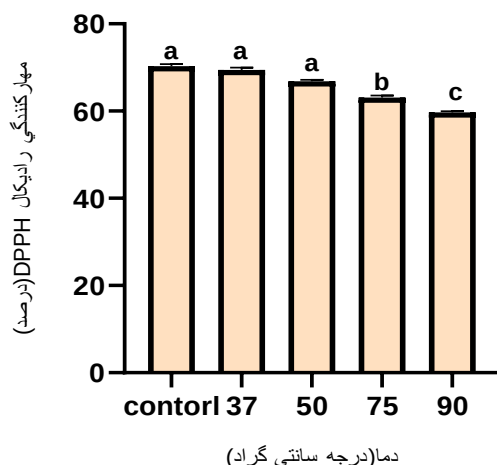
۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه اعمال شد. که بر این اساس میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه‌های تحت تیمار ۹۰ درجه سانتی گراد ۲۵/۲۴ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین محاسبه گردید. نتایج نشان دادند که تیمار نمونه در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه به طور معناداری نسبت به نمونه کنترل با کاهش همراه بود ($p < 0.05$). نتایج بیان داشتند که تیمار نمونه‌ها در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد سبب کاهش محتوای گروه‌های آمین آزاد به صورت چشمگیری شد (حدود ۲۴/۲۷ درصد).

بررسی اثر تیمار حرارتی بر فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های DPPH و ABTS در محصول هیدرولیز پروتئینی

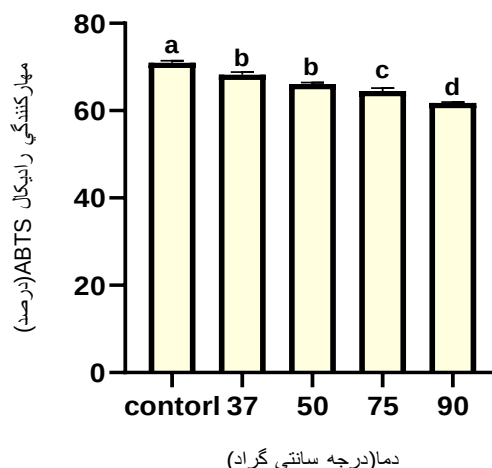
بعد از بررسی اثر تیمارهای حرارتی بر میزان محتوای گروه‌های آمین آزاد در گام دوم اثر هریک از تیمارهای حرارتی بر فعالیت آنتی اکسیدانی پپتیدها براساس مهار رادیکال DPPH و ABTS مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به صورت نمودار زیر گزارش شد. بعد از فرآیند هیدرولیز آنزیمی، فعالیت آنتی اکسیدانی پپتیدهای حاصل از پروتئین عدس بر اساس مهار رادیکال آزاد DPPH تحت تیمارهای حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. براین اساس نمونه‌ها در دماهای ۳۷ و ۵۰ درجه سانتی گراد بالاترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی را نشان دادند و به ترتیب به مقادیر ۶۹/۴۲ و ۶۶/۸۵ رسید. تیمار نمونه‌ها در دمای ۳۷ و ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه نسبت به نمونه کنترل اختلاف معناداری را نشان نمی‌دهد ($p > 0.05$). بنابراین به ترتیب افت ۱/۲۵ و

نتایج ارائه شده نشان می‌دهند که نمونه‌های تیمار داده شده دارای مقادیر متفاوتی از گروه‌های آمین آزاد هستند. همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه‌ای که تحت تیمار حرارتی ۳۷ درجه سانتی گراد قرار گرفته است نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود و مقدار آن به میزان ۳۲/۶۵ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید. میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه تیمار شده در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد در مقایسه با نمونه کنترل اختلاف معناداری را نشان نمی‌دهد ($p > 0.05$). میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه‌هایی که تحت تیمار حرارتی، دمای ۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته بودند با اندکی کاهش همراه بود و به ۳۰/۸۵ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید. نتایج نشان دادند که میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه‌هایی که تحت تیمار ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفته بودند اختلاف معناداری با نمونه کنترل مشاهده نمی‌شود ($p > 0.05$). همانگونه که در شکل بالا مشاهده می‌شود میزان گروه‌های آمین آزاد در نمونه‌های تحت تیمار ۷۵ درجه سانتی گراد به ۲۸/۲۷ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید که به طور معنی داری کمتر از نمونه کنترل بود. نتایج بیانگر این است که تیمار نمونه در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه سبب کاهش ۱۵/۱۸ درصدی محتوای گروه‌های آمین آزاد نسبت به نمونه کنترل شد. نمونه‌هایی که تحت تیمار حرارتی ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفته بودند در اثر دمای بالا و شرایط نامطلوب بخش زیادی از نمونه‌ها تبخیر شدند بدین منظور فرآیند تیمار حرارتی در دمای

این توضیح داده شد ناپایدار بود به همین منظور نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه حرارت داده شدند. که بر این اساس میزان مهار رادیکال DPPH مقدار ۵۹/۷۱ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدها تحت دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه به‌طور معناداری ($p < 0.05$) نسبت به نمونه دارای آنزیم (کنترل) کاهش یافت. که بر اساس این ۱۵ درصد افت در فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدها براساس مهار رادیکال DPPH محاسبه گردید.



۴/۹ درصدی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدها محاسبه شد. سپس قرار گرفتن نمونه‌ها در حرارت‌های ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سبب کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدها براساس مهار رادیکال DPPH شد. به‌طوریکه مقدار آن ۶۳/۰۸ درصد رسید. بنابراین افت ۱۰/۱۷ درصدی در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر حسب مهار رادیکال DPPH در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. تیمار نمونه‌ها در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه همان‌گونه که پیش از



شکل ۶- بررسی اثر تیمارهای حرارت دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدهای حاصل از پروتئین عدس و با نمونه کنترل (دارای آنزیم فاقد تیمار). حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار ($p < 0.05$) بین داده‌ها است.

بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را دارند. از طرف دیگر پیتیدها از ترکیبات حساس به حرارت می‌باشند و طی فرآیندهای حرارتی آسیب‌پذیر هستند و در نهایت فرآیندهای حرارتی سبب تجمع آنها می‌شود (Pokorny and Schmidt, 2001; Escudero et al., 2014). Fu و همکاران (۲۰۱۵) دلیل این تغییرات کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در اثر حرارت را با تغییرات اسیدهای آمینه و وزن مولکولی محصولات هیدرولیز پروتئینی در طول عملیات حرارتی مرتبط دانستند. Pokorny و Schmidt (۲۰۰۱) بیان کردند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدها با وزن مولکولی کم در دمای و زمان بسیار کم پایدار است. به‌طور کلی، در برابر گرما آسیب‌پذیر هستند و منجر به آگلوتینه شدن (بهم‌چسبندگی و تجمع) می‌شوند.

بررسی اثر متقابل دما و زمان بر پایداری پیتیدها

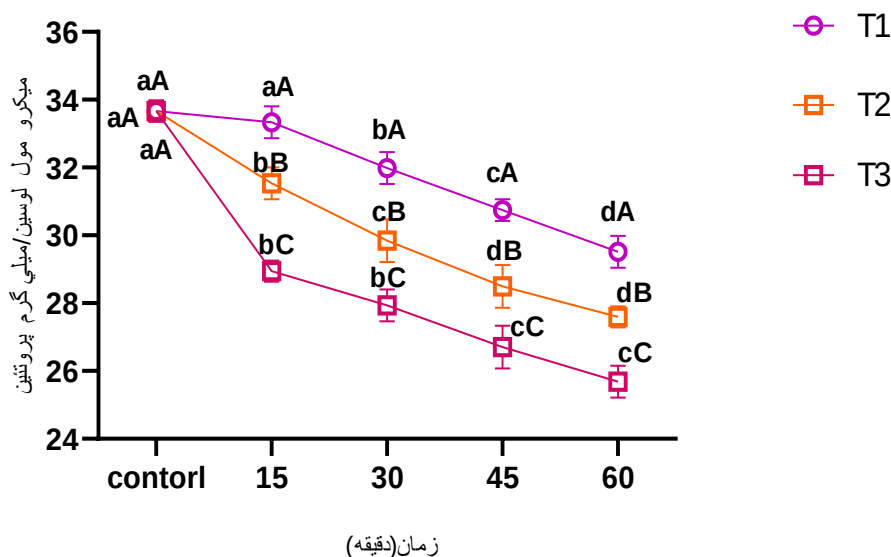
اثر متقابل دما و زمان بر محتوای گروه‌های آمین آزاد در محصول هیدرولیز پروتئینی

بعد از بررسی فرآیند هیدرولیز آنزیمی و تاثیر تیمار حرارت در یک زمان ثابت، اینبار نمونه‌ها به‌منظور ارزیابی محتوای گروه‌های آمین آزاد

همانگونه که در شکل ۶ (B) مشاهده می‌شود نمونه‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد بالاترین تاثیر را در فعالیت آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال ABTS) را نشان دادند و میزان فعالیت آن ۶۸/۲۰ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که قرارگرفتن نمونه‌ها تحت دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد سبب کاهش اندکی (۳/۸ درصد) در فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدها نسبت به نمونه کنترل شد. قرارگرفتن نمونه‌ها تحت دماهای ۵۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه سبب کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدها (بر اساس مهار رادیکال آزاد ABTS) به‌طور معناداری شدند ($p < 0.05$). بنابراین فعالیت آنتی‌اکسیدانی پیتیدها (برحسب مهار رادیکال آزاد ABTS) در دماهای ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب مقادیر ۶۶/۱۲، ۶۴/۵۱ و ۶۱/۷۵ اندازه‌گیری شد. بنابراین میزان افت در فعالیت مهارکنندگی رادیکال ABTS در نمونه‌های قرار گرفته به مدت ۱۵ دقیقه در دماهای ۵۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۶/۸ و ۹ درصد محاسبه شد. میزان افت در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه قرار گرفته به مدت ۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد ۱۳ درصد محاسبه گردید. آن‌ها دلیل امر را اینگونه بیان کردند که پیتیدها با وزن مولکولی کم،

میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید. میزان محتوای گروه‌های آمین آزاد حاصل از تیمار نمونه به‌وسیله دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در طول زمان‌های مختلف اختلاف معناداری را با نمونه کنترل نشان می‌دهد ($p < 0.05$). نتایج ارائه شده در نمودار بالا نشان می‌دهد که میزان محتوای گروه‌های آمین آزاد در نمونه قرار گرفته شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد (T3) در طول زمان‌های مختلف روند کاهشی داشته به‌طوری که در دقیقه ۱۵ از ۳۳/۶۶ به ۲۸/۹۴ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید. سپس با کاهش روند همراه بود و در دقایق ۳۰ و ۴۵ به ترتیب ۲۷/۹۳ و ۲۶/۷۰ میکرومول / میلی گرم پروتئین رسید. سپس دوباره در ۶۰ دقیقه روند کاهشی داشته و به ۲۵/۶۸ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید. میزان محتوای گروه‌های آمین آزاد در نمونه قرار گرفته شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کمتر از نمونه کنترل بود. بنابراین نتایج نشان دادند که قرارگرفتن نمونه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف نسبت به سایر دماها (۳۷ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد) سبب کاهش بیشتر محتوای گروه‌های آمین آزاد شد.

تحت تیمارهای حرارتی (۳۷، ۵۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد) در زمان‌های مختلف (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه) بررسی شدند. همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود قرار گرفتن محصول هیدرولیز پروتئینی در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد (T1) در زمان‌های مختلف سبب کاهش میزان محتوای گروه‌های آمین آزاد شد به نحوی که در ۱۵ دقیقه اول از ۳۳/۶۶ به ۳۳/۳۳ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید اما این تغییرات معنادار نبود ($p > 0.05$). سپس در دقیقه ۳۰ با کاهش بیشتری همراه بود و به ۳۱/۹۸ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید. سپس در دقایق ۴۵ و ۶۰ نیز روند کاهشی داشت و به ترتیب ۳۰/۷۴ و ۲۹/۵۱ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید. قرار گرفتن نمونه‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف سبب کاهش محتوای گروه‌های آمین آزاد نسبت به نمونه کنترل شد. میزان محتوای گروه‌های آمین آزاد در نمونه قرار گرفته شده در معرض دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد (T2) در زمان‌های مختلف کاهش یافت به نحوی که در ۱۵ دقیقه اول فرآیند از ۳۳/۶۶ به ۳۱/۵۳ میکرومول لوسین / میلی گرم پروتئین رسید. سپس در دقایق ۳۰، ۴۵ و ۶۰ نیز با کاهش همراه بود و به ترتیب ۲۹/۸۴، ۲۸/۴۹ و ۲۷/۵۹



شکل ۷- بررسی اثر تیمارهای حرارت دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد (T1)، ۵۰ درجه سانتی‌گراد (T2) و ۷۵ درجه سانتی‌گراد (T3) در زمان‌های مختلف بر محتوای گروه‌های آمین آزاد و مقایسه با نمونه کنترل (دارای آنزیم فاقد تیمار) حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار ($p < 0.05$) بین داده‌ها است.

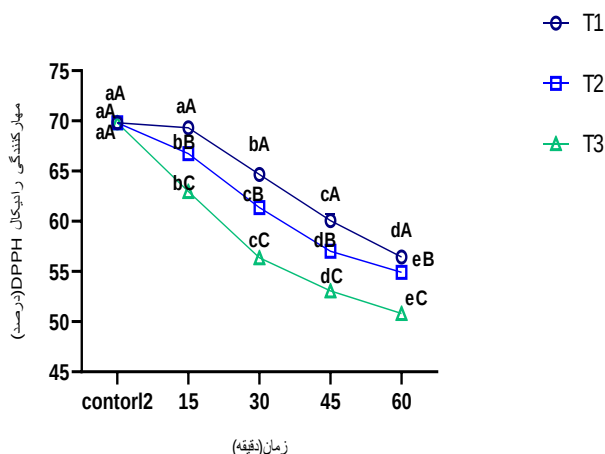
فعالیت آنتی اکسیدانی پپتیدها از دقایق ابتدایی تا دقیقه ۶۰ روند کاهشی داشت به‌نحوی که تا دقیقه ۶۰ به ۵۶/۴۴ رسید. بنابراین میزان افت فعالیت آنتی اکسیدانی در دقیقه ۶۰ نسبت به نمونه کنترل (دارای آنزیم و بدون تیمار) ۱۹/۱۴ درصد محاسبه شد. بر اساس نمودار بالا (A) قرار گرفتن نمونه‌ها تحت دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد (T2) در طول

اثر متقابل دما و زمان بر فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های

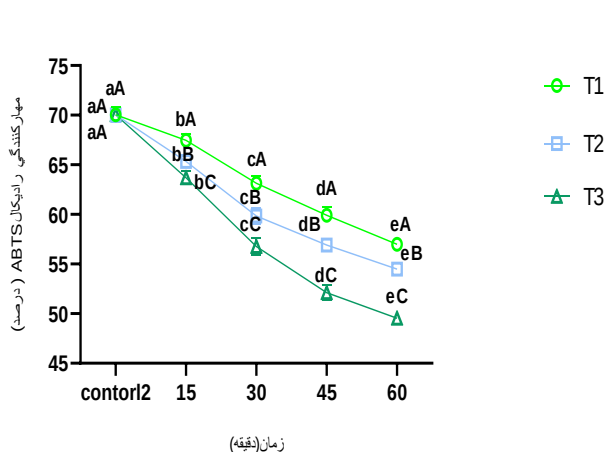
ABTS و DPPH در محصول هیدرولیز پروتئینی

همانگونه که در شکل ۸ (A) مشاهده می‌گردد قرار گرفتن نمونه‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف سبب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پپتیدها بر اساس مهار رادیکال DPPH شد. بر این اساس

۴/۳، ۱۲/۱، ۱۸/۳ و ۲۱/۳ درصد محاسبه گردید. میزان فعالیت آنتی اکسیدانی پیتیدها (بر اساس مهار رادیکال DPPH) در نمونه‌های قرار گرفته شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد (T3) در طول زمان‌های مختلف از همان ابتدا با کاهش همراه بود به طوری که در دقایق ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ به ترتیب به مقادیر ۶۲/۹۶، ۵۶/۳۶، ۵۳/۰۵ و ۵۰/۸۰ رسید. بر این اساس در دقایق ۱۵ و ۶۰ افت ۹/۷ و ۲۷/۲ درصدی محاسبه شد.



زمان‌های مختلف سبب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پیتیدها بر اساس مهار رادیکال DPPH شد. همانطور که مشاهده می‌شود میزان فعالیت آنتی اکسیدانی از دقیقه ۱۵ با کاهش همراه بود به طوری که به ۶۶/۷۴ رسید. سپس این روند کاهشی در دقایق ۳۰ و ۴۵ نیز ادامه داشته و به مقدار ۶۱/۳۵ و ۵۷/۰۰ رسید. سپس در دقیقه ۶۰ نیز با کاهش همراه بود و به مقدار ۵۴/۹۱ رسید. بنابراین میزان افت در فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH در نمونه‌های قرار گرفته در معرض دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در طی بازه زمانی مختلف (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه) به ترتیب



شکل ۸- بررسی اثر تیمارهای حرارت دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد (T1)، ۵۰ درجه سانتی‌گراد (T2) و ۷۵ درجه سانتی‌گراد (T3) در زمان‌های مختلف بر پایداری پیتیدهای آنتی اکسیدان براساس مهار رادیکال DPPH و ABTS و مقایسه با نمونه کنترل (دارای آنزیم و فاقد تیمار). حروف غیرمشابه نشان دهنده اختلاف آماری معنادار ($p < 0.05$) بین داده‌ها است.

کنترل ۲ به ۶۳/۶۷ در دقیقه ۱۵ کاهش یافت. سپس در دقیقه ۳۰ به مقدار ۵۶/۷۶ رسید. سپس در دقایق ۴۵ و ۶۰ به مقادیر ۵۴/۱۲ و ۴۹/۵۲ کاهش یافت. نتایج حاکی از آن است که فعالیت پیتیدهای آنتی اکسیدان بر اساس مهار رادیکال ABTS در نمونه‌های قرار گرفته شده در معرض دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در طول زمان‌های مختلف نسبت به سایر دماها (دمای ۳۷ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد) کاهش بیشتری داشته است. در تحقیقی که Kiokias و همکاران (۲۰۰۷) بر روی پایداری ایزوله پروتئین آب پنیر در برابر تیمار حرارتی (۸۵-۴۵ درجه سانتی‌گراد) انجام دادند بیان داشتند که تغییر شکل پروتئین آب پنیر ناشی از تیماردهی حرارت در دماهای ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. که تغییرات مولکولی در ساختار پروتئین عمدتاً به دلیل قرار گرفتن اسیدهای آمینه در کنار هم و همچنین قرار گرفتن پروتئین‌ها در دماهای بالا (به‌ویژه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) سبب دناتوراسیون آن‌ها می‌گردد. کاهش میزان گروه‌های سولفیدریل در ساختار پروتئین باعث ضعیف شدن نیروهای درون و بین مولکولی در ساختار پروتئین می‌شود. از طرف دیگر با کاهش پیوند دی‌سولفیدی میزان مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد

همانگونه که در شکل ۸ (B) مشاهده می‌شود، میزان مهار رادیکال آزاد ABTS در نمونه کنترل ۲ به ۷۰/۰۴ رسید. سپس میزان مهار رادیکال آزاد ABTS در نمونه قرار گرفته شده در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد (T1) در دقیقه ۱۵ کاهش یافت و به ۶۷/۴۵ رسید سپس در دقایق ۳۰، ۴۵ و ۶۰ به ترتیب به مقادیر ۶۳/۱۲، ۵۹/۹۰ و ۵۶/۹۹ کاهش یافت. براین اساس نتایج نشان دادند که قرار گرفتن نمونه‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در طول زمان‌های مختلف (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه) به ترتیب سبب کاهش ۳، ۱۰، ۱۴ و ۱۸ درصدی در فعالیت آنتی اکسیدانی پیتیدها (بر اساس مهار رادیکال ABTS) شده است. میزان فعالیت پیتیدهای آنتی اکسیدان حاصل از پروتئین عدس بعد از قرار گرفتن در معرض دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد (T2) در طول زمان‌های مختلف کاهش یافت. به طوری که از دقایق ابتدایی تا دقیقه ۶۰ روند کاهشی داشت و به ۵۴/۴۸ رسید. بنابراین میزان افت تا دقیقه ۶۰ ۲۲/۲ درصد محاسبه شد. فعالیت آنتی اکسیدانی پیتیدهای حاصل از پروتئین عدس براساس مهار رادیکال آزاد ABTS در نمونه‌های قرار گرفته شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد (T3) از ۷۰/۰۴ در نمونه

۱۲۰-۶۰ درجه سانتی گراد و همچنین تغییرات pH در محدوده ۱۱-۳ انجام می شود تاثیر به سزایی در فعالیت پپتیدهای زیست فعال دارد. عواملی نظیر بسته بندی، حرارت، میزان اکسیژن، نور، pH و... همگی به نحوی بر ساختار پپتیدها و عملکردشان تاثیرگذار هستند. در نتیجه، می توانند به عنوان یک منبع جدید برای جلوگیری از واکنش های اکسیداسیون در فرآوری مواد غذایی و تقویت خواص آنتی اکسیدانی غذاهای کاربردی مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین می توان از آنها در تغذیه ورزشکاران، غنی سازی نوشیدنی ها، فرمولاسیون غذای کودک و ... استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

از همکاری جناب آقای دکتر مهدی ملک پور کارشناس محترم آزمایشگاه گیاهان دارویی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس در انجام مراحل آزمایشگاهی این پژوهش تشکر و قدردانی می گردد.

افزایش می باید. آن ها گزارش کردند میزان پیوند دی سولفیدی در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد، با کاهش همراه بود. بنابراین میزان مهارکنندگی رادیکال های آزاد و فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش یافت. ولی با افزایش بیشتر درجه حرارت (بالای ۸۰ درجه سانتی گراد) در طی تیماردهی، واکنش عکس عمل کرده و سبب کاهش میزان مهار رادیکال های آزاد و فعالیت آنتی اکسیدانی شد (Kiokias et al., 2007).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده می توان چنین نتیجه گیری کرد که آنزیم آلکالاز نقش به سزایی در تولید پپتیدهای آنتی اکسیدان از پروتئین عدس دارد. از طرفی بررسی پایداری پپتیدها در طول نگهداری امری بسیار مهم تلقی می شود. زیرا امروزه اکثر فرآورده هایی که در صنایع غذایی به منظور فرآوری مواد غذایی استفاده می شود از جمله پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون و غیره که معمولاً در محدودی دمای

منابع

- Abdul-Hamid, A., Bakar, J., Bee, G.H., 2002. Nutritional quality of spray dried protein hydrolysate from Black Tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Food chemistry* 78, 69-74.
- Alemán, A., Giménez, B., Pérez-Santin, E., Gómez-Guillén, M., Montero, P., 2011. Contribution of Leu and Hyp residues to antioxidant and ACE-inhibitory activities of peptide sequences isolated from squid gelatin hydrolysate. *Food Chemistry* 125, 334-341.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology* 28, 25-30.
- Bamdad, F., Wu, J., Chen, L., 2011. Effects of enzymatic hydrolysis on molecular structure and antioxidant activity of barley hordein. *Journal of Cereal Science* 54, 20-28.
- Church, F.C., Swaisgood, H.E., Porter, D.H., Catignani, G.L., 1983. Spectrophotometric assay using o-phthaldialdehyde for determination of proteolysis in milk and isolated milk proteins. *Journal of Dairy Science* 66, 1219-1227.
- de Castro, R.J.S., Sato, H.H., 2015. Biologically active peptides: Processes for their generation, purification and identification and applications as natural additives in the food and pharmaceutical industries. *Food Research International* 74, 185-198.
- Escudero, E., Mora, L., Toldrá, F., 2014. Stability of ACE inhibitory ham peptides against heat treatment and in vitro digestion. *Food chemistry* 161, 305-311.
- Jian, L., Lee, A., Binns, C., 2007. Tea and lycopene protect against prostate cancer. *Asia Pacific journal of clinical nutrition* 16, 453-457.
- Kiokias, S., Dimakou, C., Oreopoulou, V., 2007. Effect of heat treatment and droplet size on the oxidative stability of whey protein emulsions. *Food Chemistry* 105, 94-100.
- Ketnawa, S., Benjakul, S., Martínez-Alvarez, O., Rawdkuen, S., 2017. Fish skin gelatin hydrolysates produced by visceral peptidase and bovine trypsin: Bioactivity and stability. *Food chemistry* 215, 383-390.
- Lowry, O., Rosebrough, N., Farr, A., Randall, R., 1951. Total protein estimation by Lowry's method. *J. Biol. Chem* 193, 265.
- Lai, T., Lin, Z., Zhang, R., Guo, X., Ma, Z., Liao, W., Hu, X., 2016. Processing stability of antioxidant protein hydrolysates extracted from degreased walnut meal. *International Journal of Food Engineering* 2, 155-161.
- Mendis, E., Rajapakse, N., Kim, S.-K., 2005. Antioxidant properties of a radical-scavenging peptide purified from enzymatically prepared fish skin gelatin hydrolysate. *Journal of agricultural and food chemistry* 53, 581-587.
- Mine, Y., Li-Chan, E., Jiang, B., 2010. Bioactive proteins and peptides as functional foods and nutraceuticals. John Wiley & Sons.
- Maqsoodlou, A., Mahoonak, A.S., Mora, L., Mohebodini, H., Toldrá, F., Ghorbani, M., 2019. Peptide identification in alcalase hydrolysed pollen and comparison of its bioactivity with royal jelly. *Food research international* 116, 905-915.

- Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishimura, H., Shahidi, F., 2011. Functionalities and antioxidant properties of protein hydrolysates from the muscle of ornate threadfin bream treated with pepsin from skipjack tuna. *Food Chemistry* 124, 1354-1362.
- Ovissipour, M., Safari, R., Motamedzadegan, A., Rasco, B., Pourgholam, R., Mohagheghi, E., Molla, A.E., 2009. Use of hydrolysates from yellowfin tuna *Thunnus albacares* fisheries by-product as a nitrogen source for bacteria growth media. *International Aquatic Research* 1, 73-77.
- Pokorný, J., Schmidt, S., 2001. Natural antioxidant functionality during food processing. *Antioxidants in food*, 331-350.
- Rao, S., Sun, J., Liu, Y., Zeng, H., Su, Y., Yang, Y., 2012. ACE inhibitory peptides and antioxidant peptides derived from in vitro digestion hydrolysate of hen egg white lysozyme. *Food chemistry* 135, 1245-1252.
- Rajabzadeh M, Pour-Ashuri P., Shabanpour B, Alishahi A. 1397. Evaluation of Applied and Antioxidant Properties of Hydrolyzed Sperm Protein Egg Protein. (*Oncorhynchus mykiss*) *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 10: 35-23.
- Sharma, N., Singh, N., Singh, O., Pandey, V., Verma, P., 2011. Oxidative stress and antioxidant status during transition period in dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 24, 479-484.
- Urbano, G., Porres, J.M., Frías, J., Vidal-Valverde, C., 2007. *Nutritional value, Lentil. Springer*, pp. 47-93.
- Wong, F.-C., Xiao, J., Michelle, G., Ong, L., Pang, M.-J., Wong, S.-J., Teh, L.-K., Chai, T.-T., 2019. Identification and characterization of antioxidant peptides from hydrolysate of blue-spotted stingray and their stability against thermal, pH and simulated gastrointestinal digestion treatments. *Food chemistry* 271, 614-622.
- Zhu, C.-Z., Zhang, W.-G., Kang, Z.-L., Zhou, G.-H., Xu, X.-L., 2014. Stability of an antioxidant peptide extracted from Jinhua ham. *Meat science* 96, 783-789.



Antioxidant activity stability of Lentil protein hydrolysate against heat and pH treatments

R. Alizadeh Firoozeh¹, M. Mirzaei^{2*}, V. Fadaei Noghani³

Received: 2020.07.21

Accepted: 2020.11.12

Introduction: Bioactive peptides are protein fragments with 2 to 20 amino acids that have different biological properties depending on the type of amino acids and peptide sequences, including antioxidant, antihypertensive, and antidiabetic. These peptides are inactive in their parent protein sequences but are released during fermentation, enzymatic hydrolysis, or food processing, and exhibit a positive effect on body function and health being. Lentil protein hydrolysate containing antioxidant peptides can be considered as an ingredient of functional foods. One major challenge in using protein hydrolysate in the formulation of functional foods is their stability against the various processes applied to food such as heat and pH treatments.

Materials and Methods: In this study, Lentil protein (*Lens esculinaris*) was hydrolyzed by Alcalase enzyme under controlled conditions (enzyme/substrate ratio of 90 Anson unit (AU)/ kg protein, 55°C, one hour). The intensity of enzymatic hydrolysis was monitored by the OPA method and antioxidant activity was evaluated based on DPPH and ABTS radical scavenging activity. The heat stability of lentil protein hydrolysate was evaluated by heating samples at 37, 50, 75 (for 15 -60 min), and 90°C (for 5 minutes). The pH stability was investigated by exposing the sample at a pH of 2, 5, 7, 9, And 11 for 1 hr and then adjusting on 7. OPA method was also used to evaluate the possible effect of pH and heat treatments on the content of free amino groups.

Results and Discussion: The results showed that hydrolysis of Lentil protein by Alcalase under controlled conditions produced antioxidant peptides. Heating at 37, 50, and 75°C for 15 minutes reduced the DPPH radical scavenging activity by 1.25, 4.9, and 10.17% and ABTS radical scavenging activity by 3.8, 6.8, and 9%, respectively. The results of the OPA assay also showed a significant ($P<0.05$) decrease in the number of free amino groups in protein hydrolysate exposed to heat treatment. With increasing the time of treatment up to 60 minutes, the antioxidant activity decreased more significantly ($P<0.05$), simultaneously with a decrease in the content of free amino acid groups in the protein hydrolysate sample. So that, after heat treatment at 37, 50, and 75 ° C for 60 minutes, the free amino acid groups reached from 33/66 μ M leucin /mg protein to 29.51, 27.59, and 25.68 μ M leucin /mg protein and the most decrease in antioxidant activity was measured for samples exposed to 75°C for 60 minutes. It caused a 27.2%, and 29.2% reduction in DPPH and ABTS radical scavenging activity, respectively. Also, exposure to heat treatment at 90°C for 5 minutes caused a 15% and 13% decrease in DPPH and ABTS radical scavenging activity. The results obtained from consideration the antioxidant activity of samples exposed to pH treatment (2, 5, 7, 9, and 11 for 1 hour) showed the highest antioxidant activity of peptides at neutral pH and confirmed that acidic and alkaline conditions caused a significant decrease in antioxidant activity ($P<0.05$). As exposure to pHs 2 and 11 for one hour led to respectively 16.3 and a 29.2% decrease in DPPH radical scavenging activity and 16 and 18.2% decrease in ABTS radical scavenging activity. The results of the OPA assay also confirmed the role of acidic and basic pH on less exposure of free amino acid groups in protein structure.

The results showed the potential of using Alcalase enzyme to hydrolyze Lentil protein and produce antioxidant peptides and the Lentil protein hydrolysate with antioxidant activity exhibited relative stability toward different heat and pH treatments. It was concluded that peptides retained 88% and 76% of antioxidant activity at maximum heat (90 ° C for 5 minutes) and pH treatment (pH=11, for 1 hour). According to the results of the OPA assay, the observed decrease in antioxidant activity may be due to the changes that happen in protein and peptide structure when are exposed to heat and pH treatments. Altogether, our results showed that Lentil protein hydrolysate can be considered as a potential food ingredient with stable antioxidant activity.

Keywords: Stability, Lentil protein, Thermal treatment, pH treatment, Antioxidant activity, Protein hydrolysate.

1, 2 and 3. MSc Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(Corresponding Author E-mail: mahtam86@gmail.com)



مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های ضدباکتریایی، آنتی‌اکسیدانی و پایداری اکسایشی روغن حاوی اسانس بذر گشنیز

نگین غظنفری^۱ - سید علی مرتضوی^۲ - فریده طباطبایی یزدی^۲ - مرتضی محمدی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۹

چکیده

با توجه به مقاومت گونه‌های میکروبی به آنتی‌بیوتیک‌های رایج و عوارض ناخواسته آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی، تلاش برای معرفی ترکیبات طبیعی دارای فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی رو به افزایش است. در این پژوهش آزمایشگاهی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و اثر ضد میکروبی اسانس بذر گشنیز مورد بررسی قرار گرفت. میزان ترکیبات فنولی کل اسانس با استفاده از معرف فولین سیوالتو اندازه‌گیری شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس با آزمون رادیکال گیرندگی بررسی و با آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی تولوئن مقایسه شد و پایداری اکسایشی آن با اندازه‌گیری اندیس پراکسید طی هشت روز نگهداری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بررسی گردید. پایداری حرارتی روغن سویای حاوی اسانس بذر گشنیز به کمک دستگاه رسیمت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و جریان هوای ۱۰ لیتر بر ساعت اندازه‌گیری شد. اثر ضد میکروبی اسانس بذر گشنیز علیه دو باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا* نیز مورد بررسی قرار گرفت. ترکیبات شیمیایی اسانس با کمک کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی شناسایی شد. نتایج نشان داد میزان ترکیبات فنول کل معادل ۰/۱۶۱ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم ماده خشک، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر حسب IC₅₀ برای اسانس ۳۰/۹۸۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و همچنین پایداری حرارتی روغن سویا تیمار شده به اسانس بذر گشنیز ۵/۱۷ ساعت بود. بررسی نتایج آزمون‌های میکروبی نشان داد باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* (گرم مثبت) حساسیت بیش‌تری نسبت به اسانس بذر گشنیز در مقایسه با باکتری *سودوموناس آئروژینوزا* (گرم منفی) داشت. تعداد ۵۰ ترکیب در اسانس بذر گشنیز شناسایی شد که بیش‌ترین ترکیب تشکیل‌دهنده آن لینالول (۴۹ درصد) بود و پس از آن ترپینولن (۷ درصد) و آلفا پینن (۶/۸ درصد) قرار داشتند.

واژه‌های کلیدی: اسانس گشنیز، حداقل غلظت مهار کنندگی، قدرت رادیکال گیرندگی، پایداری اکسایشی روغن.

مقدمه

که به‌صورت طبیعی در بافت‌های گیاهی وجود دارند، احتمالاً به‌عنوان بخشی از مکانیسم‌های دفاعی خود در برابر هجوم میکروبی تولید شده‌اند (Rivera Calo et al., 2015). ترکیبات ضد میکروبی با منبع گیاهی، توان بالقوه درمانی داشته و نه تنها در درمان بیماری‌های عفونی موثر هستند، بلکه تعداد زیادی از عوارض جانبی را که اغلب با ترکیبات ضد میکروبی مصنوعی همراه است، کاهش می‌دهند (Zare Zardini et al., 2012).

اسانس‌های گیاهی، مخلوط‌های کمپلکسی از ترکیبات فرار تولید شده توسط ارگانیسم‌های زنده بوده که توسط روش‌های فیزیکی چون عصاره‌گیری و تقطیر از همه گیاه، یا بخش‌هایی از گیاه به‌دست می‌آیند. اسانس‌ها ترکیبات معطر، آب‌گریز، غلیظ و فراری هستند که در سلول‌ها، غده‌ها و مجاری ترشحی در قسمت‌های سطحی و درونی اندام‌های مختلف از جمله برگ، گل، میوه، جوانه و شاخه‌های گیاهان وجود دارند (Khalil et al., 2018). این ترکیبات جز متابولیت‌های ثانویه گیاهی می‌باشند که خصوصیات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی آن‌ها به‌خوبی شناخته شده است (Rivera Calo et al., 2015).

از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی علم پزشکی، بیماری‌های عفونی و مسمومیت‌ها است که به تبع آن تولید و مصرف آنتی‌بیوتیک‌های جدید و رایج را افزایش می‌دهد. با افزایش مصرف آنتی‌بیوتیک‌های رایج شاهد شیوع و گسترش گونه‌های میکروبی مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها هستیم که بوجود آمدن این گونه‌های مقاوم، روند درمان بیماری‌های عفونی را طولانی و پرهزینه می‌کند (Li and Webster, 2018). ترکیبات طبیعی با منشا گیاهی (اسانس‌ها و عصاره‌ها)، به‌منظور از بین بردن یا حداقل جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این ترکیبات

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

۳- مربی، گروه فراوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

(* نویسنده مسئول: Email: mohamadi2003@gmail.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.88361

سویه‌های میکروبی

سویه‌های میکروبی مورد استفاده در این پژوهش، از دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد، تهیه شد. این سویه‌ها شامل باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* (ATCC 25923) و باکتری گرم منفی *سودوموناس آئروژینوزا* (PTCC 1707) بود.

استخراج اسانس به روش تقطیر با آب

در این روش به منظور استخراج اسانس از دستگاه کلونجر استفاده شد. به این ترتیب که ۲۰۰ گرم بذر گشنیز آسیاب شده را در بالن با حجم ۲۰۰۰ میلی‌لیتر ریخته و به آن حدود ۱۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و عمل استخراج و اسانس‌گیری انجام شد. استخراج اسانس ۴ ساعت زمان برد. از ظرف شیشه‌ای و تیره رنگ به منظور نگهداری اسانس در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد استفاده شد (Kosar et al., 2005).

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی کل (TPC)^۱

میزان ترکیبات فنول کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتو اندازه‌گیری شد. اساس کار، احیاء معرف فولین توسط ترکیبات فنولی موجود در محیط قلیایی و ایجاد کمپلکس آبی رنگ است. در این آزمون رقت ۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر برای اسانس تهیه شد. برای تعیین مقدار ترکیبات فنولی کل، ۰/۵ میلی‌لیتر از اسانس را با ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین ۱۰ درصد و ۲ میلی‌لیتر کرینت‌سدیم ۷/۵ درصد به‌خوبی مخلوط و برای مدت ۳۰ دقیقه در محلی تاریک قرار داده شد. جذب محلول به کمک اسپکتروفتومتر (Shimadzu, Japan) در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. منحنی استاندارد بر حسب مقادیر ۰/۲-۲ mg/ml (صفر) اسید گالیک رسم گردید. نتایج بر اساس میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم ماده خشک بیان شد (Bajalan et al., 2017).

اندازه‌گیری قدرت رادیکال گیرندگی (DPPH)^۲

اساس روش رادیکال گیرندگی احیاء رادیکال آزاد DPPH به کمک آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشد که نتیجه این عمل، تغییر رنگ محلول DPPH از بنفش به رنگ زرد، است. برای اسانس رقت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تهیه و از آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی تولوئن (BHT)^۳ در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌عنوان کنترل مثبت استفاده شد. برای این منظور، ۱ میلی‌لیتر از محلول متانولی ۰/۵ میلی‌مولار DPPH را به ۴ میلی‌لیتر از رقت تهیه شده از اسانس اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در محلی

از جمله این گیاهان دارویی می‌توان به گیاه گشنیز اشاره کرد. گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) گیاهی یک ساله، علفی، معطر و متعلق به خانواده Apiaceae است. گشنیز دارای تاریخچه طولانی برای مصرف غذایی و درمانی است. این گیاه منبع غنی از ترکیبات معطر و اسانس بوده که دارای اثرات ضدباکتریایی، ضدقارچی و همچنین اثرات آنتی‌اکسیدانی است و در تهیه انواع غذا به‌عنوان ادویه استفاده می‌شود. گشنیز بومی منطقه مدیترانه بوده و به‌طور گسترده در هند، بنگلادش، روسیه، مراکش و مرکز اروپا رشد می‌کند (Mandal and Mandal, 2015). لینالول مهم‌ترین و بیش‌ترین (۵۰-۷۰ درصد) ترکیب تشکیل‌دهنده اسانس بذر گشنیز است. لینالول ترکیب مونوترپنی می‌باشد که در بسیاری از گیاهان وجود دارد و خواص ضدالتهابی، ضدانعقادی، ضد درد و ضد میکروبی آن شناخته شده است (Peana and Moretti, 2008). طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی در مرداد ماه ۱۳۹۷، سالانه نزدیک ۱۲۰۰۰ تن گشنیز در کشور تولید می‌شود که حدود ۱۰۰۰۰ تن در شهرستان نهاوند تولید و صادر می‌شود. تمام قسمت‌های گیاه گشنیز خوراکی هستند با این حال برگ‌های تازه و دانه‌های خشک آن بیش‌تر مصرف می‌شوند. برگ و دانه گشنیز منابع خوبی از اسانس هستند (Mandal and Mandal, 2015).

یکی از برجسته‌ترین ویژگی‌های اسانس بذر گشنیز، خاصیت ضد میکروبی آن است. اسانس بذر گشنیز توانایی مهار طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم، از جمله باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی و قارچ‌ها را دارد. اثر بخشی آن بیش‌تر به‌صورت ضدباکتریایی است (Zare Zardini et al., 2012; Laribi et al., 2015). اسانس بذر گشنیز نقش مهمی در جذب و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و خاموش کردن اکسیژن واکشنرگر دارد (Wangensteen et al., 2004; Laribi et al., 2015). هدف از انجام این پژوهش بررسی پتانسیل ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی اسانس بذر گشنیز و معرفی آن به‌عنوان یک منبع طبیعی دارای اثر ضد میکروبی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی مشهد، آزمایشگاه میکروبیولوژی صنعتی و فناوری‌های نوین گروه صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، انجام گردید. بذر گشنیز مورد آزمایش از استان خراسان رضوی، شهر مشهد تهیه، و جنس و گونه آن در پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تایید شد. روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان از کارخانه روغن نباتی سه‌گل خراسان تهیه شد.

1 TPC: Total Phenolic Content

2 DPPH: 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl

1 BHT: Butylated hydroxyl toluene

میکرولیتر محلول آهن (II) اضافه و ورتکس برای مدت ۲-۴ ثانیه انجام شد. بعد از گذشت ۵ دقیقه در دمای محیط، جذب نمونه و شاهد (حاوی تمام ترکیبات بجز نمونه) در طول موج ۵۰۰ نانومتر خوانده شد. منحنی کالیبراسیون به کمک رقت‌های ساخته شده از محلول کلرید آهن (III) رسم شد (Farhoosh et al., 2008).

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس (GC-MS)

شناسایی ترکیبات اسانس با کمک دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی (Konik, HRGC 5000c, Spain) با دتکتور چهارگانه و ستون DB-5 (۳۰ متر × ۰/۲۵ میلی‌متر و فاز ثابت ۰/۲۵ میکرومتر) انجام شد. دمای ستون از ۴۰ درجه سانتی‌گراد به ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با نرخ افزایش دما به صورت ۲/۵ دقیقه بر درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. نمونه (۰/۱ میکرولیتر) به کروماتوگراف گازی تزریق و از گاز هلیوم به‌عنوان گاز حامل (با جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه) استفاده شد. در دستگاه طیف‌سنج جرمی انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت بود. خروج آلکان‌ها به‌عنوان نقاط مرجع در محاسبه شاخص‌های بازدارندگی نسبی در نظر گرفته شد (Salehi Sourmaghi et al., 2014).

بررسی قابلیت ضد میکروبی اسانس بذر گشنیز

استاندارد ۰/۵ مک فارلند

برای تهیه محلول استاندارد ۰/۵ مک فارلند، به‌منظور مقایسه با سوسپانسیون میکروبی از محلول اسید سولفوریک ۱ درصد و کلرور باریم ۱/۱۷۵ درصد استفاده شد. در این روش کدورت محلول استاندارد با استفاده از اندازه‌گیری جذب در طول موج ۶۳۰ نانومتر مشخص شد. میزان جذب محلول در این طول موج باید بین ۰/۰۸ تا ۰/۱۳ باشد. استاندارد ۰/۵ مک فارلند کدورتی معادل با یک سوسپانسیون میکروبی حاوی $10^8 \times 1/5$ CFU/ml ایجاد می‌کند (McFarland, 1907).

تهیه سوسپانسیون میکروبی

به منظور تهیه سوسپانسیون میکروبی نیاز به کشت تازه از گونه‌های باکتریایی می‌باشد. برای تهیه سوسپانسیون باکتریایی ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش از کشت ذخیره به محیط کشت مولر هیتون براث تلقیح گردید و به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری شد (Alizadeh Behbahani and Imani Fooladi, 2018).

تاریک در دمای اتاق قرار داده شد. سپس جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید (Choi et al., 2002).

در نهایت درصد مهار رادیکال‌های DPPH با فرمول زیر محاسبه شد:

$$RSA = (A_{\text{Control}} - A_{\text{sample}} / A_{\text{Control}}) \times 100 \quad (1)$$

در اینجا A_{Control} جذب نوری نمونه فاقد اسانس و A_{sample} مقدار جذب نمونه اسانس را بیان می‌کند (Ijaz Hussain et al., 2008).

اندازه‌گیری پایداری اکسایشی روغن سویا تیمار شده با اسانس بذر گشنیز (OSI)^۱

محصولات ثانویه و فرار حاصل از اکسیداسیون روغن‌ها و چربی‌ها (شامل: آلدئیدها، کتون‌ها و اسیدها) را می‌توان با کمک دستگاه رنسیمت اندازه‌گیری کرد (Shahidi and Zhong, 2005). در این آزمون رقت ۰/۳ میلی گرم بر میلی‌لیتر از اسانس تهیه و به ۵ گرم از روغن سویای تصفیه، بویگیری و رنگبری شده که فاقد آنتی‌اکسیدان بود، اضافه شد. آنتی‌اکسیدان سنتزی BHT به‌عنوان کنترل مثبت و روغن سویای بدون آنتی‌اکسیدان به‌عنوان کنترل منفی استفاده شد. مقاومت اکسایشی نمونه در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوا ۱۵ لیتر بر ساعت، توسط دستگاه رنسیمت (Metrohm 743, Switzerland) اندازه‌گیری شد (Proestos et al., 2006).

اندازه‌گیری اندیس پراکسید (PV)^۲ روغن سویا تیمار شده با اسانس بذر گشنیز

اندیس پراکسید در مدت زمان هشت روز در سه نوبت روز صفرم، چهارم و هشتم در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. برای این منظور از اسانس‌ها و آنتی‌اکسیدان سنتزی BHT (کنترل مثبت) رقت ۰/۲ میلی گرم بر میلی‌لیتر تهیه و به ۳ گرم روغن سویای تصفیه و تخلیص شده بدون آنتی‌اکسیدان اضافه شد و نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. از روغن سویای تصفیه و تخلیص شده بدون آنتی‌اکسیدان به‌عنوان کنترل منفی استفاده شد. بر اساس روش فدراسیون بین‌المللی لبنیات (IDF)^۳، ۰/۳-۰/۱ گرم از نمونه را وزن کرده و به ۹/۸ میلی‌لیتر محلول کلروفرم-متانول (۳:۷ V/V) اضافه و به مدت ۲-۴ ثانیه ورتکس شده و به مدت ۲-۴ ثانیه ورتکس کرده و سپس ۵۰

1 Oxidative Stability Index (OSI)

2 Peroxide Value (PV)

3 International Dairy Federation (IDF)

نرم افزار Excel 2013 انجام گردید. کلیه آزمون ها در دو تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

راندمان استخراج

راندمان استخراج اسانس به صورت تقسیم وزن اسانس (گرم) بر وزن ماده خشک (گرم) ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد. راندمان استخراج بذر گشنیز ۰/۳۰۵ درصد اندازه گیری شد (Tohidi et al., 2017).

اندازه گیری مقدار ترکیبات فنول کل

میزان ترکیبات فنولی موجود در اسانس بذر گشنیز ۰/۱۶۱ میلی گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم ماده خشک بود. ترکیبات فنولی دارای نقش آنتی اکسیدانی مهم به عنوان یک مانع خوب در برابر واکنش های اکسیداتیو هستند. همبستگی مثبت میان محتوای فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی منابع طبیعی (گیاهی)، توسط بسیاری از مطالعات نشان داده شده است (Kukic et al., 2008; Tohidi et al., 2017).

در مطالعه ای، Neffati و همکاران (۲۰۱۰)، محتوای فنولی عصاره متانولی گشنیز تونسسی را بررسی کردند. برای اندازه گیری میزان ترکیبات فنولی کل از معرف فولین سیوکالتو استفاده شد. نتایج نشان داد میزان ترکیبات فنولی کل عصاره گشنیز تونسسی، ۱/۰۴ میلی گرم اسید گالیک بر گرم ماده خشک اندازه گیری شد. Wangenstein و همکاران در سال ۲۰۰۴، مطالعه ای در مورد بررسی محتوای فنولی کل اسانس و عصاره اتیل استات بذر گشنیز انجام دادند. محتوای فنولی کل اسانس، ۰/۱۴ و برای عصاره بذر گشنیز ۱/۹ گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم ماده گیاهی گزارش شد.

اندازه گیری قدرت رادیکال گیرندگی

برای مقایسه قدرت رادیکال گیرندگی اسانس ها از فاکتور IC₅₀ که بیان گر غلظت موثر از نمونه ها بوده و ظرفیت مهار ۵۰ درصد، DPPH را دارد، استفاده شد. مقدار IC₅₀ برای اسانس بذر گشنیز، ۳۰/۹۸۱ میلی گرم بر میلی لیتر به دست آمد. آنتی اکسیدان BHT فعالیت رادیکال گیرندگی بالاتری نسبت به اسانس بذر گشنیز از خود نشان داد (۰/۴۱۰ میلی گرم بر میلی لیتر). با افزایش غلظت اسانس، قدرت رادیکال گیرندگی آن نیز افزایش یافت. Gonzalez-Marrugo و همکاران (۲۰۱۸) فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس بذر گشنیز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اسانس، درصد رادیکال گیرندگی نیز افزایش یافت. در این تحقیق اثر آنتی اکسیدانی اسانس بذر گشنیز به ترکیبات Linalool، decanal، n-decanol و nonane نسبت داده شد. امید

تعیین حداقل غلظت بازدارندگی از رشد (MIC)^۱

برای به دست آوردن حداقل غلظت بازدارندگی اسانس علیه باکتری های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا*، از روش رقت سازی استفاده شد. رقت سازی نمونه به شکل متوالی در میکروپلیت ۹۶ خانه ای، که با کمک محیط کشت مولر هیتون آگار پر شده بود، انجام شد. رقت های نمونه از ۱۲۸-۰/۲۵ میلی گرم بر میلی لیتر، با کمک ۰/۵ میلی لیتر توئین ۸۰ و محیط کشت تهیه شد. رقت سازی به روش میکرودايلوشن انجام شد. به این صورت که در چاهک اول میکروپلیت ۹۶ خانه ای، ۱۵۰ میکرولیتر از رقت ۱۲۸ میلی گرم بر میلی لیتر اضافه، سپس در تمام چاهک ها (به جز چاهک اول) ۵۰ میکرولیتر محیط کشت افزوده، در ادامه از چاهک اول ۵۰ میکرولیتر به چاهک دوم انتقال داده و رقت ۶۴ میلی گرم بر میلی لیتر درست شد. بقیه رقت ها نیز به همین صورت تهیه گردید (Ijaz Hussain et al., 2008). در نهایت ۱۰ میکرولیتر سوسپانسیون میکروبی (1.5×10^8 CFU/ml) در هر چاهک اضافه و میکروپلیت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد به مدت ۱۸ ساعت در گرم خانه قرار داده شد. بعد از طی ۱۸ ساعت، ۲۰ میکرولیتر معرف تری فیل ترازولیوم کلراید^۲ ۵ درصد به هر یک از چاهک های پلیت ۹۶ خانه ای افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه مجدداً در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد، گرم خانه گذاری شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه، اولین غلظتی که در آن رشد میکروبی روی نداده و رنگ قرمز تشکیل نشده بود، به عنوان MIC گزارش شد (Alizadeh Behbahani et al., 2019).

تعیین حداقل غلظت باکتری کشی (MBC)^۳

برای تعیین حداقل غلظت باکتری کشی اسانس علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا*، ۲۰ میکرولیتر از تمام چاهک هایی که در تست MIC رشد نکرده و فاقد رنگ قرمز بودند، روی محیط کشت مولر هیتون آگار، کشت سطحی داده و تحت شرایط مناسب با باکتری (۳۷ درجه سانتی گراد به مدت ۱۸ ساعت)، گرم خانه گذاری شد. رقتی به عنوان MBC انتخاب شد، که هیچگونه رشدی در آن مشاهده نشده بود (Alizadeh Behbahani et al., 2019).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

آنالیز واریانس نتایج آزمون ها در طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین توسط آزمون چنددامنه ای دانکن و در سطح اطمینان $p \leq 0.05$ توسط نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶، و رسم نمودار با

1 Minimum Inhibitory Concentration (MIC)

2 Triphenyltetrazolium chloride

3 Minimum Bactericidal Concentration (MBC)

ساعت) بود. Yagci و همکاران (۲۰۱۲) اثر آنتی‌اکسیدانی اسانس آویشن زوفایی را در پایداری اکسایشی روغن پالم و روغن ذرت بررسی کردند. نتایج نشان داد در هر دو روغن افزودن اسانس آویشن، مدت زمان پایداری اکسایشی روغن‌ها را در مقایسه با روغن پالم و ذرت بدون آنتی‌اکسیدان (کنترل منفی) افزایش داده بود، به‌طوری‌که با افزایش غلظت اسانس مدت زمان پایداری حرارتی روغن‌ها نیز افزایش یافته بود. Rezaie و همکاران (۲۰۱۵) اثر اسانس پوست بنه در پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان تصفیه شده را بررسی کردند. در این مطالعه از BHT و آلفا توکوفرول به‌عنوان کنترل استفاده شد. زمان القا برای روغن آفتابگردان بدون آنتی‌اکسیدان ۱/۹۶ ساعت مشاهده شد. P_f برای اسانس، BHT و آلفا توکوفرول به‌ترتیب ۰/۹۱، ۲/۳۰ و ۶/۲ حاصل شد.

میرزائی و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی در ارتباط با بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس دانه گشنیز با روش مهار رادیکال آزاد DPPH انجام دادند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اسانس دانه گشنیز، درصد مهار کنندگی رادیکال DPPH افزایش یافت.

اندازه‌گیری پایداری اکسایشی روغن سویا تیمار شده با اسانس بذر گشنیز

بررسی نتایج نشان داد، اسانس بذر گشنیز در مقایسه با روغن سویا بدون آنتی‌اکسیدان منجر به افزایش پایداری اکسایشی روغن شده بود. پایداری اکسایشی روغن سویا تیمار شده با اسانس بذر گشنیز ۵/۱۷ ساعت اندازه‌گیری شد. نمونه شاهد (روغن سویا تصفیه‌شده عاری از آنتی‌اکسیدان) دارای پایین‌ترین زمان القا (۴/۶ ساعت) و آنتی‌اکسیدان سنتزی BHT دارای بالاترین زمان القا (۶/۱)

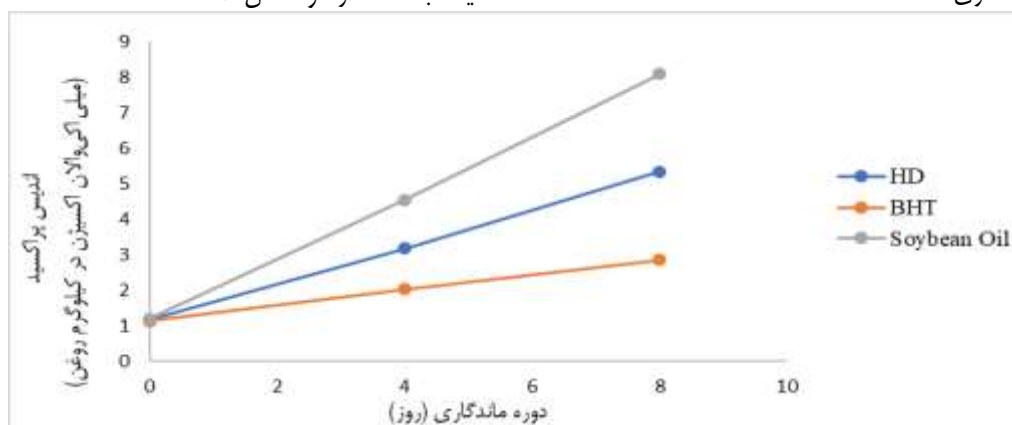
جدول ۱- نتایج راندمان استخراج، ترکیبات فنول کل، قدرت رادیکال گیرندگی و پایداری اکسایشی روغن سویا تیمار شده با اسانس بذر گشنیز

نمونه‌ها	Yield %	TPC (mg GAE/100g)	IC ₅₀ (mg/ml)	OSI (h)
اسانس بذر گشنیز	۰/۳۰۵±۰/۰۱۳	۰/۱۶۱±۰/۰۰۵	۳۰/۹۸۱±۰/۰۰۸ ^a	۵/۱۷±۰/۰۲۸ ^b
BHT	—	—	۰/۴۱۰±۰/۰۰۳ ^b	۶/۱۰±۰/۰۴۳ ^a
روغن سویا	—	—	—	۴/۶۰±۰/۲۸۲ ^c

Sadeghi و همکاران (۲۰۱۵) پایداری اکسایشی روغن سویا را با کمک اسانس چوبی بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اسانس در روغن سویا، اندیس پراکسید کاهش یافته بود. Farahmandfar و همکاران (۲۰۱۸)، پژوهشی در ارتباط با کاربرد اسانس به‌لیمو در پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان انجام دادند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اسانس در روغن آفتابگردان، اندیس پراکسید کاهش یافته بود. روغن حاوی اسانس به‌لیمو نتایج بهتری در مقایسه با BHT از خود نشان داد.

اندازه‌گیری اندیس پراکسید روغن سویا تیمار شده با اسانس بذر گشنیز

اندیس پراکسید در طول دوره نگهداری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا پایان روز هشتم در تمامی نمونه‌ها افزایش یافت. علت این موضوع حضور ترکیبات ناپایدار است که مستعد اکسیداسیون هستند. اندیس پراکسید نمونه شاهد که عاری از آنتی‌اکسیدان بود، تا پایان روز هشتم به بالاترین سطح خود رسید. کم‌ترین مقدار پراکسید برای آنتی‌اکسیدان سنتزی BHT مشاهده شد.



شکل ۱- اندازه‌گیری اندیس پراکسید اسانس بذر گشنیز

آزمون‌های میکروبی

تعیین حداقل غلظت بازدارندگی از رشد (MIC)

حداقل غلظت بازدارندگی از رشد اسانس بذر گشنیز علیه باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا* به ترتیب ۳۲ و ۶۴ میلی گرم بر میلی لیتر به دست آمد. طبق نتایج حاصل از بررسی حداقل غلظت بازدارندگی از رشد، بالاترین فعالیت اسانس بذر گشنیز علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* با کمترین مقادیر MIC مشاهده شد، که نشان دهنده حساسیت بیش تر این باکتری به اسانس بذر گشنیز می باشد. رشد باکتری گرم مثبت نسبت به باکتری گرم منفی در غلظت‌های کمتری از اسانس متوقف شده بود، بنابراین می توان نتیجه گرفت باکتری گرم مثبت حساسیت بیش تری نسبت به اسانس بذر گشنیز در مقایسه با باکتری گرم منفی دارد. این امر به تفاوت در ساختار دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی نسبت داده می شود. این موضوع با نتایج تحقیق ایجاز حسین و همکاران (۲۰۰۸)، Karakaya و همکاران (۲۰۱۲) و Goldbeck و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت داشت. غشا خارجی باکتری‌های گرم منفی دارای سطحی هیدروفلیک بوده که از نفوذ ترکیبات آبرگریز جلوگیری می کند (Rivera Calo et al., 2015) در حالی که انتهای لیپوفیلیک، اسید لیپوتئیکوئیک غشا سلولی باکتری‌های گرم مثبت، نفوذ ترکیبات آبرگریزی مانند اسانس را تسهیل بخشیده، که منجر به حساسیت بیش تر این باکتری‌ها به ترکیبات ضد میکروبی می گردد (Karakaya et al., 2012). برومند و همکاران (۱۳۸۷) اثر ضد میکروبی اسانس دانه گشنیز را بر روی سه میکروارگانیسم بیماری‌زا غذایی شامل *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشرشیا کلی* و *سالمونلا تیفی موریوم* بررسی کردند. در این تحقیق از آزمایش حساسیت رقت در محیط مایع و محیط کشت‌های مولر هیتون آگار و برات استفاده شد. نتایج نشان داد

که *استافیلوکوکوس اورئوس* حساس‌ترین و *سالمونلا تیفی موریوم* مقاوم‌ترین باکتری به این اسانس بود. Espina و همکاران (۲۰۱۱) مطالعه‌ای در مورد اثر سه اسانس از مرکبات تجاری (پرتقال، لیمو و نارنگی) روی تعدادی از میکروارگانیسم بیماری‌زا و عامل فساد مواد غذایی انجام دادند. نتایج نشان داد، در تست MIC اسانس نارنگی اثر ضد میکروبی قوی روی هر سه بیماری‌زا گرم منفی داشت، در صورتی که اسانس‌های پرتقال و لیمو هیچگونه اثر بازدارندگی از رشد روی این سه باکتری نداشتند. هر سه اسانس با کمترین غلظت MIC تاثیر ضد میکروبی قوی روی باکتری گرم مثبت مورد آزمون از خود نشان دادند.

تعیین حداقل غلظت باکتری کشی (MBC)

حداقل غلظت کشندگی اسانس بذر گشنیز علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا*، به ترتیب ۶۴ و ۱۲۸ میلی گرم بر میلی لیتر حاصل گردید. در آزمون حداقل غلظت کشندگی، کمترین مقدار MBC که بیانگر حساسیت بیش تر باکتری به ماده ضد میکروبی است، برای *استافیلوکوکوس اورئوس* به دست آمد. همچنین *سودوموناس آئروژینوزا*، باکتری مقاوم به اسانس بذر گشنیز بود، چرا که بیش ترین مقدار MBC را به خود اختصاص داد. Ijaz Hussain و همکاران (۲۰۰۸) اثر ضد میکروبی اسانس ریحان را روی چهار سوش باکتری متشکل از دو باکتری گرم مثبت، دو باکتری گرم منفی و پنج گونه قارچی بررسی کردند. نتایج تست‌های ضد میکروبی نشان داد باکتری‌های گرم مثبت حساس‌ترین میکروارگانیسم به اسانس ریحان و مقاوم‌ترین میکروارگانیسم به این اسانس، موکور موکدو گزارش شد.

جدول ۲- نتایج آزمون‌های میکروبی اسانس بذر گشنیز

اسانس بذر گشنیز		باکتری‌ها
MBC (mg/ml)	MIC (mg/ml)	
۶۴	۳۲	<i>استافیلوکوکوس اورئوس</i>
۱۲۸	۶۴	<i>سودوموناس آئروژینوزا</i>

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس

اسانس‌ها از ترکیباتی با وزن مولکولی پایین تشکیل شده‌اند و شیمی هر ترکیب اسانس تاثیر زیادی بر خصوصیات آن دارد. شرایط رشد و فصل برداشت گیاه روی بازده و محتوای اسانس تاثیر می‌گذارد (Tahlan, 2014). در مجموع ۵۰ ترکیب (۹۸/۲ درصد) در اسانس بذر گشنیز شناسایی شد. بیش ترین ترکیب تشکیل دهنده اسانس بذر گشنیز، لینالول بود که با نتایج تحقیق Kosar و همکاران (۲۰۰۵)، Salehi Sourmaghi و همکاران (۲۰۱۴) و امیدی میرزائی و

همکاران (۱۳۹۹) مطابقت می‌کرد. میزان مونوترپن‌های اکسیژنه و مونوترپن‌های هیدروکربنه موجود در اسانس به ترتیب ۵۱/۹ درصد و ۱۰/۳ درصد مشاهده شد.

امیدی میرزائی و همکاران (۱۳۹۹) با کمک GC-MS به آنالیز ترکیبات شیمیایی اسانس بذر گشنیز پرداختند. گزارش آن‌ها حاکی از وجود ۷۶/۷۵ درصد لینالول در اسانس بذر گشنیز بود. در تحقیقی که Salehi Sourmaghi و همکاران (۲۰۱۴) در شناسایی ترکیبات بذر گشنیز انجام دادند، درصد لینالول موجود در اسانس بذر گشنیز را

۶۶/۲۹ درصد و میزان مونوترپن‌های اکسیژنه را ۷۰/۹۵ درصد گزارش کردند.

جدول ۳- ترکیبات شیمیایی اسانس بذر گشنیز

ردیف	ترکیب	زمان بازداری (دقیقه)	درصد
۱	cis-1-ethyl-3-methyl-Cyclopentane	۴/۰۹	۰/۸
۲	Octane	۴/۳۳	۶/۷
۳	3-Chlorohexane	۴/۴۰	۰/۱
۴	propyl-Cyclopentane	۴/۹۰	۰/۴
۵	ethyl-Cyclohexane	۴/۹۸	۰/۲
۶	2,5-dimethyl-Heptane	۵/۶۷	۰/۱
۷	Heptanal	۶/۵۰	۰/۲
۸	3-ethyl-2-methyl-Heptane	۶/۷۳	۰/۱
۹	β -Thujene	۷/۰۹	۰/۲
۱۰	α -Pinene	۷/۳۶	۶/۸
۱۱	Camphene	۷/۷۴	۰/۵
۱۲	5-methyl-Nonane	۷/۸۷	۰/۴
۱۳	3-methyl-Nonane	۸/۲۱	۰/۶
۱۴	β -Phellandrene	۸/۳۵	۰/۷
۱۵	β -Pinene	۸/۵۰	۱/۵
۱۶	β -Myrcene	۸/۷۴	۰/۶
۱۷	Decane	۹/۰۷	۵
۱۸	Octanal	۹/۲۰	۰/۲
۱۹	3-Carene	۹/۳۲	۰/۲
۲۰	α -Terpinene	۹/۵۲	۰/۱
۲۱	M-Cymene	۹/۷۸	۱/۸
۲۲	D-Limonene	۹/۸۷	۰/۵
۲۳	Terpinolene	۱۰/۷۳	۷
۲۴	1-Octanol	۱۱/۴۱	۱
۲۵	Linalool	۱۱/۸۳	۴۹
۲۶	5-methyl-Undecane	۱۳/۱۱	۰/۱
۲۷	3-methyl-Undecane	۳۱/۵۱	۰/۱
۲۸	1-Nonanol	۱۳/۶۰	۰/۱
۲۹	Borneol	۱۳/۷۶	۰/۱
۳۰	Terpinen-4-ol	۱۳/۹۶	۰/۳
۳۱	butyl-Cyclohexane	۱۴/۱۰	۰/۲
۳۲	Dodecane	۱۴/۲۷	۱/۹
۳۳	Decanal	۱۴/۵۲	۱/۵
۳۴	Citronellol	۱۴/۹۷	۰/۵
۳۵	Geraniol	۱۵/۵۸	۱/۵
۳۶	(E)-2-Decenal	۱۵/۹۰	۰/۸

۰/۱	۱۵/۹۶	2-butyl-,Cyclohexanol	۳۷
۰/۳	۱۶/۰۵	1-Decanol	۳۸
۰/۲	۱۶/۵۲	Estragole	۳۹
۰/۲	۱۶/۹۲	Undecanal	۴۰
۰/۱	۱۷/۳۲	Myrtenyl acetate	۴۱
۰/۱	۱۷/۸۲	Citronellyl valerate	۴۲
۰/۱	۱۸/۲۴	2-Undecenal	۴۳
۳	۱۸/۵۳	Geranyl acetate	۴۴
۰/۴	۱۸/۹۲	Tetradecane	۴۵
۰/۲	۱۹/۲۱	Dodecanal	۴۶
۰/۲	۱۹/۵۵	Caryophyllene	۴۷
۱/۳	۲۰/۵۰	2-Dodecenal	۴۸
۰/۱	۲۳/۰۸	Hexadecane	۴۹
۰/۱	۲۴/۵۸	(E)-2-Tetradecenal	۵۰
۱۰/۳		Monoterpenes hydrocarbons	
۵۱/۹		Monoterpenes oxygenated	
۰/۲		Sesquiterpenes hydrocarbons	
۹۸/۲		Total	

نتیجه گیری

مونوترپن‌های اکسیژنه (۵۱/۹ درصد) که در راس آن‌ها لینالول (۴۹ درصد) بود، بخش عمده اسانس بذر گشنیز را تشکیل می‌داد. اسانس‌هایی که درصد ترکیبات اکسیژنه بیش‌تری دارند از لحاظ ایجاد عطر، بوی قوی و همچنین از لحاظ قدرت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی اهمیت بالاتری نسبت به سایر ترکیبات دارند، در نتیجه اسانس‌های با ارزش‌تری محسوب می‌شوند. تجزیه و تحلیل نتایج آزمون‌های میکروبی نشان داد، اسانس بذر گشنیز اثر معنی‌داری ($P < 0.05$) علیه باکتری گرم مثبت مورد مطالعه داشت، به‌طوری‌که اسانس بذر گشنیز حتی در غلظت‌های پایین، رشد *استافیلوکوکوس*

اورئوس را مهار کرده بود. این اسانس فعالیت آنتی‌اکسیدانی خوبی در پایداری اکسایشی روغن سویا داشت. اسانس بذر گشنیز به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی توانسته بود پایداری اکسایشی روغن سویا را در شرایط تشدید کننده اکسیداسیون افزایش دهد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی مشهد و کارخانه روغن نباتی سه‌گل خراسان، به دلیل مساعدت‌هایی جهت انجام این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

امیدی میرزائی، م.، حجتی، م.، علیزاده بهبهانی، ب.، نوشاد، م. ۱۳۹۹. تعیین ترکیبات شیمیایی، ویژگی‌های ضد اکسایشی و فعالیت ضد میکروبی اسانس دانه گشنیز بر تعدادی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا. پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۱۶، شماره ۲، ۲۲۱-۲۳۳.
برومند، ع.، حامدی، م.، امام جمعه، ز.، رضوی، ه.، گل‌مکانی، م. ۱۳۸۷. بررسی خاصیت ضد میکروبی اسانس بذرهای شوید و گشنیز بر روی *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشریشیا کلی*، *سالمونلا تیفی*، *موریوم* با استفاده از آزمایش حساسیت رقت در محیط مایع. پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، صفحات ۶۷-۵۹.

Alizadeh Behbahania, B., Noshad, M. and Falah, F., 2019, Cumin essential oil: Phytochemical analysis, antimicrobial activity and investigation of its mechanism of action through scanning electron microscopy, *Microbial Pathogenesis*, 136, 1-6.

Alizadeh Behbahani B, Imani Fooladi AA., 2018, Development of a novel edible coating made by Balangu seed mucilage and Feverfew essential oil and investigation of its effect on the shelf life of beef slices during refrigerated storage through intelligent modeling. *Journal of food safety*, 38(3): 1-16.

- Bajalan, I., Zand, M., Goodarzi, M. and Darabi, M., 2017, Antioxidant activity and total phenolic and flavonoid content of the extract and chemical composition of the essential oil of *Eremostachys laciniata* collected from Zagros, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(2), 144-146.
- Choi, C., Kim, S., Hwang, S., Choi, B., Ahn, H., Lee, M., Park, S. and Kim, S., 2002, Antioxidant activity and free radical scavenging capacity between Korean medicinal plants and flavonoids by assay-guided comparison, *Plant Science*, 163, 1161-1168.
- Espina, L., Somolinos, M., Loran, S., Conchello, P., Garcia, D. and Pagan, R., 2011, Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes, *Food Control*, 22, 896-902.
- Farhoosh, R., Tavakoli, J. and Haddad Khodaparast, M.H., 2008, Chemical Composition and Oxidative Stability of Kernel Oils from Two Current Subspecies of *Pistacia atlantica* in Iran, *Journal of the American Oil Chemists Society (AOCS)*, 85, 723-729.
- Farahmandfar, R., Asnaashari, M., Pourshayegan, M., Maghsoudi, S. and Moniri, H., 2018, Evaluation of antioxidant properties of lemon verbena (*Lippia citriodora*) essential oil and its capacity in sunflower oil stabilization during storage time, *Food Science & Nutrition*, 6, 983-990.
- Goldbeck, J.C., Novack Victoria, F., Motta, A., Savegnago, L., G. Jacob, R., Perin, G., Joao Lenardao, E. and Padilha da Silva, W., 2014, Bioactivity and morphological changes of bacterial cells after exposure to 3-(p-chlorophenyl)thio citronellal, *LWT - Food Science and Technology*, 59, 813-819.
- Gonzalez-Marrugo, L.B., Granados-Liamas, E.A. and Granados-Conde, C., 2018, Extraction and Evaluation of the Antioxidant Properties of Coriander (*Coriandrum sativum*) Seed Essential Oil, *Contemporary Engineering Sciences*, 77, 3841-3848.
- Ijaz Hussain, A., Anwar, F., Hussain Sherazi, S.T. and Przybylski, R., 2008, Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations, *Food Chemistry*, 108, 986-995.
- Khalil, N., Ashour, M., Fikry, S., Naser Singab, A. and Salama, O., 2018, Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of selected Apiaceous fruits, *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4, 88-92.
- Kukic, J., Popovic, V., Petrovic, S., Mucaji, P., Ciric, A., Stojkovi, D. and Sokovic, M., 2008, Antioxidant and antimicrobial activity of *Cynara cardunculus* extracts, *Food Chemistry*, 107, 861-868.
- Kosar, M., Ozek, T., Goger, V., Kurkcuglu, M. and Can Baser, H., 2005, Comparison of Microwave-Assisted Hydrodistillation and Hydrodistillation Methods for the Analysis of Volatile Secondary Metabolites, *Pharmaceutical Biology*, 43, 491-495.
- Karakaya, S., Nehir El, S., Karagozlu, N., Sahin, S., Sumnu, G. and Bayramoglu, B., 2012, Microwave-assisted hydrodistillation of essential oil from rosemary, *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1056-1065.
- Laribi, B., Kouki, K., M'Hamdi, M. and Bettaieb, T., 2015, Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) and its bioactive constituents, *Fitoterapia*, 103, 9-26.
- Li, B. and Webster, T.J., 2018, Bacteria Antibiotic Resistance: New Challenges and Opportunities for Implant-Associated Orthopaedic Infections, *J Orthop Res*, pp, 1-20.
- Mandal, Sh. and Mandal, M., 2015, Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(6), 421-428.
- McFarland, J., 1907, The nephelometer: An instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines, *Journal of the American Medical Association*, 49, 1176-1178.
- Neffati, M., Sriti, J., Hamdaoui, G., Khouk, M.E. and Marzouk, B., 2010, Salinity impact on fruit yield, essential oil composition and antioxidant activities of *Coriandrum sativum* fruit extracts, *Food Chemistry*, 124, 221-225.
- Proestos, C., Boziaris, I.S., Nychas, G.E. and Komaitis, M., 2006, Analysis of flavonoids and phenolic acids in Greek aromatic plants: Investigation of their antioxidant capacity and antimicrobial activity, *Food Chemistry*, 95, 664-671.
- Rivera Calo, J., G. Crandall, P., A. O'Bryan, C. and C. Ricke, S., 2015, Essential Oils as Antimicrobials in Food Systems—A Review, *Food Control*, 54, 111-119.
- Rezaie, M., Farhoosh, R., Sharif, A., Asili, J. and Iranshahi, M., 2015, Chemical composition, antioxidant and antibacterial properties of Bene (*Pistacia atlantica* subsp. *mutica*) hull essential oil, *Association of Food Scientists & Technologists*.
- Salehi Sourmaghi, M.H., Kiaee, G., Golfakhrabadi, F., Jamalifar, H. and Khanavi, M., 2014, Comparison of essential oil composition and antimicrobial activity of *Coriandrum sativum* L. extracted by hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2452-2457.
- Shahidi, F. and Zhong, Y., 2005, Lipid Oxidation: Measurement Methods, Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 6th Ed., Six Volume Set, Memorial University of Newfoundland, Canada.
- Sadeghi, E., Mahtabani, A., Etminan, A. and Karami, F., 2015, Stabilization of soybean oil during accelerated storage by essential oil of *ferulago angulata* boiss, *Association of Food Scientists & Technologists*.
- T.Peana, A. and D.L. Moretti, M., 2008, Linalool in essential plant oils: pharmacological effects, *Botanical medicine in clinical practices*, pp. 716-724.

- Tohidi, B., Rahimmalek, M. and Arzani, A., 2017, Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of Thymus species collected from different regions of Iran, *Food Chemistry*, 220, 153-161.
- Tahlan, V., 2014, Antimicrobial Activity Of Essential Oil Emulsions And Possible Synergistic Effect On Food Borne Pathogens, *Wayne State University Theses*, pp, 1-64.
- Wangenstein, H., Berit Samuelsen, A. and Egil Malterud, K., 2004, Antioxidant activity in extracts from coriander, *Food Chemistry*, 88: 293-297.
- Yagci, S., Yagci, E. and Gogus, F., 2012, Antioxidative Effect of *Thymbra spicata* on Oxidative Stability of Palm and Corn Oils, *International Journal of Food Properties*, 15, 656-664.
- Zare Zardini, H., Tolueinia, B., Momeni, Z., Hasani, Z. and Hasani, M., 2012, Analysis of antibacterial and antifungal activity of crude extracts from seeds of *Coriandrum sativum* L. *Gomal journal of medical sciences*, 10, 161-167.



Evaluation of antibacterial and antioxidant properties of Coriander seed essential oil and investigation of oxidative stability of soybean oil containing Coriander essential oil

N. Ghazanfari¹, S. A. Mortazavi², F. Tabatabaei Yazdi², M. Mohammadi^{3*}

Received: 2020.08.26

Accepted: 2020.09.09

Introduction: One of the most important challenges facing medical science is infectious diseases and poisoning, which in turn increases the production and consumption of new and common antibiotics. With the over use of common antibiotics, we are witnessing the spread of antibiotic-resistant microbial species, which makes the treatment of infectious diseases long and costly. Natural compounds of plant origin (essential oils and extracts) have been used to kill or at least prevent the growth of pathogenic microorganisms. These compounds, which are naturally present in plant tissues, are probably produced as part of their defense mechanisms against microbial invasion. Plant-based antimicrobials have therapeutic potential and are not only effective in treating infectious diseases, but also reduce the large number of side effects that are often associated with synthetic antimicrobials. Essential oils are complex mixtures of volatile, aromatic, low molecular weight and hydrophobic compounds present in various parts of aromatic plants, including leaves, flowers, seeds, sprouts and shoots. Among these plants, we can mention the coriander plant. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) is an annual, herbaceous, aromatic plant belonging to the Apiaceae family. Coriander has a long history of nutritional and therapeutic use. This plant is a rich source of aromatic compounds and essential oils that have antibacterial, antifungal and antioxidant effects and is used in the preparation of various foods as a spice.

Materials and Methods: The tested coriander seeds were obtained from Khorasan Razavi province, Mashhad city. Antioxidant-free soybean oil was obtained from the Seh Gol Khorasan vegetable oil factory. Total phenolic content (TPC), Radical scavenging ability (DPPH assay), Oxidative stability index (OSI), Peroxide value (PV), Minimum inhibitory concentration (MIC) and Minimum bactericidal concentration (MBC) of essential oil were measured on a number of bacteria causing infection and food poisoning. The compositions of essential oils were identified by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS).

Results and Discussion: Most of the constituents of coriander seed essential oil were oxygen monoterpene compounds. Essential oils that have a higher percentage of oxygenated compounds are more important than other compounds in terms of aroma, strong odor, as well as antimicrobial and antioxidant power, so they are considered more valuable essential oils. Analysis of microbial test results showed that coriander seed essential oil had a relatively strong and good effect against the studied Gram-positive bacteria, so that the essential oil inhibited the growth of *Staphylococcus aureus* even at low concentrations. This essential oil had good antioxidant activity in the thermal stability of soybean oil. Coriander seed essential oil as an antioxidant compound was able to increase the oxidative stability of soybean oil under oxidative acceleration conditions. The results showed that total phenolic compounds were 0.161 mg GAE/100g, IC₅₀ for essential oil was 30.981 mg/ml and thermal stability of soybean oil treated with coriander seed essential oil was 5.17 h. The results of microbial tests showed that Gram-positive bacteria was more sensitive to Coriander seed oil than Gram-negative bacteria. The most important constituents of coriander seed essential oil were Linalool (49%), Terpinolene (7%) and α -Pinene (6.8%).

Keywords: Coriander, Minimum Bactericidal Concentration, Radical scavenging ability, and Oil oxidative stability.

1 and 2. MSc and Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3. Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran

(*Corresponding Author Email: mohamadi2003@gmail.com)



مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر کارواکرویل بر ویژگی‌های ویژگی فیزیکی، مکانیکی و میکروبی هیدروژل زیستی بر پایه آرد فیلتر حاصل از فرایند آسیابانی گندم

مریم پیروموسوی^۱ - محبوبه کشیری^{۲*} - یحیی مقصودلو^۳ - مرتضی خمیری^۴ - مهران اعلمی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

چکیده

هیدروژل‌ها شبکه سه‌بعدی زنجیره پلیمری با توانایی جذب زیاد آب هستند که جهت کاهش استفاده از منابع فسیلی مورد توجه قرار گرفته است. آرد فیلتر گندم محصولی اجتناب‌ناپذیر از طبقه بندی آرد تحت سیستم پنوماتیک در صنعت مدرن آسیابانی گندم می‌باشد. از عیوب فیلم‌های هیدروژلی در صنایع بسته‌بندی می‌توان به شکنندگی، نفوذپذیری بالا نسبت به آب و مقاومت کم در برابر آب اشاره کرد. از این حیث هدف این پژوهش بررسی اثر غلظت کارواکرویل (۵ و ۱۰ درصد نسبت به وزن پلیمر) بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، ممانعت‌کنندگی، زاویه تماس سطحی و ضد میکروبی فیلم هیدروژلی بر پایه آرد فیلتر بود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد با افزایش غلظت کارواکرویل در محلول فیلم‌سازی، ضخامت و مقاومت به کشش افزایش و رطوبت، حلالیت در آب و کشش‌پذیری فیلم‌های هیدروژلی کاهش یافت. منافذ ریز متعددی در سطح فیلم‌های حاوی کارواکرویل با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد تأیید قرار گرفت. بیشترین نفوذپذیری نسبت به بخار آب $10^{-10} \times 32/1$ گرم مترثانیه پاسکال) و کمترین حلالیت در آب ($37/01 \pm 0/63$ درصد) در فیلم هیدروژلی حاوی ۱۰ درصد کارواکرویل مشاهده شد. ارزیابی فعالیت ضد میکروبی بخارهای کارواکرویل فیلم هیدروژلی در محیط جامد نشان داد که اثربخشی بخار این ترکیب علیه *آسپریلوس نایجر* (بازدارندگی کامل رشد) در مقایسه با *آش‌رشیاکلای* و *لیستریامونوسایتوزنز* بیشتر بود. اندیس کاهش لگاریتمی کارواکرویل در غلظت ۵ درصد در فیلم هیدروژلی بر پایه آرد فیلتر گندم علیه *آش‌رشیاکلای* و *لیستریامونوسایتوزنز* به ترتیب ۱/۱۶ و ۱/۳۴ لگاریتمی بود. بیشترین کاهش اندیس لگاریتمی فیلم فعال هیدروژلی در غلظت ۱۰ درصد کارواکرویل علیه *لیستریامونوسایتوزنز* ۲/۷۱ مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: آرد فیلتر گندم، بسته‌بندی ضد میکروبی، هیدروژل، کارواکرویل.

مقدمه

هیدروژل‌ها پلی‌مرهایی با توانایی جذب مقدار زیادی آب از طریق پیوند فیزیکی یا شیمیایی و ایجاد شبکه سه بعدی طبیعی یا مصنوعی می‌باشند (Ozel et al., 2017). در تکنولوژی مواد غذایی هیدروژل‌ها به عنوان حامل ترکیبات زیست فعال مورد توجه فراوان قرار گرفته است (Dordevic et al., 2015). در بیست سال اخیر هیدروژل‌های مختلف نظیر پروتئین (Betz and Kulozik, 2011)، پلی ساکارید (Mun et al., 2015)، آلژینات (Wichchukit et al., 2013)، کیتوزان (Lu et al., 2015) و پکتین (Luqin et al., 2009) بررسی شده است. از عوامل اصلی محدودیت کاربرد زیست‌پلی‌مرها در صنایع بسته‌بندی می‌توان به شکنندگی، نفوذپذیری زیاد نسبت به گازها و ماهیت آب‌دوستی اشاره کرد. با توجه به مشکلات اشاره شده، ترکیب هیدروژل‌ها با ماهیت متفاوت نظیر نشاسته-پروتئین (Coughlan et

مهاجرت ترکیبات شیمیایی، آلودگی‌های زیست محیطی و مشکلات بازیافت ناشی از کاربرد پلی‌مرهای فسیلی جهت بسته‌بندی از جمله معایبی است که معطوف شدن به پلی‌مرها زیست تخریب‌پذیر و سازگار با محیط زیست و نیز پژوهش‌های جدید برای یافتن جایگزین‌های مناسب را به همراه داشته است. در همین راستا بر اساس گزارش Briassoulis و Giannoulis (۲۰۱۸) نسبت پلاستیک به ماهی (نسبت یک به سه) در اقیانوس‌ها تا سال ۲۰۲۵ افزایش چشمگیری خواهد یافت. لذا جهت افزایش پایداری جهانی، تبدیل فرآورده جانبی به مواد با ارزش افزوده می‌تواند مفید واقع گردد (Tsang et al., 2019)

(* نویسنده مسئول: Email: Kashiri.m@gmail.com)

۱، ۲، ۳ و ۵- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، استاد و دانشیار، گروه فناوری مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۴- استاد، گروه میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

واکنش پذیر و به راحتی می‌توانند با مکان‌های فعال آنزیم‌ها پیوند هیدروژنی برقرار کنند (Farag et al., 1989). در همین راستا فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های زیستی حاوی کارواکرول مورد بررسی برخی از پژوهشگران قرار گرفته است (Rojas-Graü et al., 2007, Kavoosi et al., 2013, Ramos et al., 2014). Rojas-Graü و همکاران (۲۰۰۷) بررسی فعالیت ضد میکروبی فیلم زیستی بر پایه پوره سیب و آلزینات در حضور اسانس پونه کوهی، کارواکرول، اسانس دارچین، سینامالدهید، اسانس لیمو و سیترال حاکی از برتری قدرت فعالیت ضد میکروبی کارواکرول علیه باکتری /شرشیا کلای نسبت به اسانس پونه کوهی، سیترال، اسانس لیمو، سینامالدهید و دارچین بوده است. Ramos و همکاران (۲۰۱۴) قطر هاله بازدارندگی فیلم پلی پروپیلن حاوی تیمول در مقایسه کارواکرول بیشتر گزارش کردند.

حضور ترکیبات فعال در بستر فیلم‌های زیستی علاوه بر بروز فعالیت ضد میکروبی می‌تواند بر ویژگی فیزیکی و مکانیکی اثرات مختلفی داشته باشد. در همین راستا Pires و همکاران (۲۰۱۱)، اثر افزودن اسانس آویشن در فیلم پروتئین ماهی Hake بر کاهش ضخامت فیلم موثر گزارش کردند. این در حالی است که برخی از پژوهشگران افزایش ضخامت فیلم‌ها ناشی از افزودن اسانس آویشن در فیلم کیتوزان (Ojagh et al., 2010) و موسیلاژ دانه به (Jouki et al., 2014a) و نیز اسانس لیمو در فیلم بر پایه ژلاتین (Ahmad et al., 2012) گزارش کردند. بررسی نتایج پژوهشگران حاکی از اختلاف اثربخشی اسانس‌ها در پلی‌مرهای مختلف است که در همین راستا می‌توان به کاهش خلالت فیلم‌ها با افزودن اسانس آویشن در فیلم دانه به (Jouki et al., 2014b) و نیز کارواکرول و عصاره دانه انگور در فیلم کیتوزان (Rubilar et al., 2013) اشاره کرد. در حالی که افزایش خلالت فیلم زئین حاوی اسانس آویشن شیرازی (Kashiri et al., 2017)؛ فیلم ژلاتین حاوی کارواکرول (Kavoosi et al., 2013)؛ فیلم بر پایه موسیلاژ دانه به حاوی اسانس پونه کوهی (Jouki et al., 2014a) و نیز فیلم کیتوزان حاوی آویشن (Hosseini et al., 2009) گزارش شده است.

ماهیت افزودنی‌ها در فرمولاسیون فیلم‌های زیستی می‌تواند نقش موثری بر نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های تولیدی داشته باشد (Atarés and Chiralt, 2016). در همین راستا کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب در حضور اسانس آویشن در فیلم‌های زیستی مختلف نظیر پروتئین ماهی هیک (Pires et al., 2011)، نشاسته (Ghasemlou et al., 2013) گزارش شده است. از دیگر ترکیبات فعال موثر بر کاهش نفوذپذیری به بخار آب می‌توان به اسانس برگ چای در فیلم بر پایه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (Sánchez-González et al., 2009)، کارواکرول و عصاره دانه انگور در فیلم بر پایه کیتوزان

(Bravin et al., 2004; Jagannath et al., 2003) و نشاسته-لیپید (al., 2004) جهت بهبود ویژگی عملکردی و ممانعت‌کنندگی در برابر بخار آب گزارش شده است. به عبارتی در تولید فیلم‌های زیستی استفاده از روش ترکیبی از پلی‌مر با تأکید بر اصلاح رفتار عملکردی پلی‌مرهای بسته‌بندی (نفوذپذیری نسبت به گاز، آب، ویژگی‌های مکانیکی و مهاجرت) رویکردی جدید محسوب می‌شود. در همین راستا بر اساس گزارش برخی از پژوهشگران استفاده از مخلوط پلی‌مر نشاسته، پروتئین و لیپید نظیر آرد حاصل از محصولات کشاورزی برنج (Dias et al., 2010)، تربیتی‌کاله (Dias et al., 2010, Borneo et al., 2016, Romero et al., 2016)، آچیرا (Andrade-Mahecha et al., 2012)، موز (Pelissari et al., 2013, Gutiérrez et al., 2016)، آمارنت و چاودار (Drakos et al., 2018)، بادمجان (Nouraddini et al., 2018) و کدو تبیل (Gutiérrez, 2018) به دلیل سازگاری بهتر در یک سیستم ترمودینامیکی در مقایسه با زیست پلی‌مر خالص پیشنهاد شده است.

آرد فیلتر گندم^۱ (WFF) محصولی اجتناب‌ناپذیر از طبقه بندی آرد تحت سیستم پنوماتیک در صنعت مدرن آسیابانی گندم می‌باشد که حدود ۱/۵-۰/۵ درصد از گندم تحت فرایند را در بر می‌گیرد (Wang et al., 2013). بر اساس آخرین آمار فائو تولید گندم ایران در سال ۲۰۱۸ نزدیک به ۱۳/۴ میلیون تن گزارش شده است که با توجه به میزان آرد فیلتر گندم تولیدی طی فرایند آسیابانی استفاده آن در صنایع غذایی رویکرد جدید و جذاب تلقی می‌گردد (FAO, 2018). آرد فیلتر گندم، ترکیب است تقریباً سفید رنگ متشکل از مواد غیر آندوسپرم (لایه آلرون، ذرات ریز سبوس و جوانه است، Delcour and Hosney, 2010) با درصد نسبتاً بالایی از پروتئین‌ها (آلبومین و گلوبولین) (Waggle et al., 1967) که برگشت آن به فرایند تولید آرد می‌تواند استحکام خمیر، درصد خاکستر و رنگ سفید آرد را تحت تأثیر قرار دهد (Hemdane et al., 2015). بدین سبب اغلب در تولید الکل (Neves et al., 2006)، مواد چسبنده و خوراک دام (Pomeranz, 1988) مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان‌طوری که قبلاً اشاره شد، بسیاری از پژوهشگران درصدد یافتن منابع ارزان قیمت مبتنی بر فراورده‌های جانبی یا ضایعات صنایع تبدیلی کشاورزی جهت تولید فیلم‌های زیستی و به‌کارگیری آن‌ها در صنایع بسته بندی باشند.

کارواکرول (۵-ایزوپروپیل -۲-متیل فنول) ترکیبی با ساختار مونوترپنی که در اسانس‌های روغنی مشتق شده از گیاهان معطر نظیر پونه و آویشن یافت می‌شود. بر اساس گزارش پژوهشگران فعالیت ضد میکروبی کارواکرول به حضور حلقه آروماتیک و گروه‌های هیدروکسیل در ساختار فنولی نسبت داده می‌شود (Ben Arfa et al., 2006). گروه‌های هیدروکسیل در ساختار این ترکیبات بسیار

ریخته و در آن با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد.

ارزیابی ویژگی‌های هیدروژل‌های تولیدی ارزیابی ضخامت هیدروژل‌های تولیدی

ضخامت فیلم‌های تولید شده با استفاده از میکرومتر دیجیتالی (Mitutoyo, Japan) با حساسیت ۰/۰۰۱ میلی‌متر در ۱۰ نقطه برای هر فیلم اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به عنوان ضخامت فیلم گزارش شد. (Mossavi et al., 2019).

ارزیابی رطوبت هیدروژل‌های تولیدی

قطعات فیلم‌های هیدروژلی به ابعاد ۲×۳ سانتی‌متر مربع بریده و درون پلیت‌هایی که از قبل به وزن ثابت رسیده، توزین گردید و در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت حرارت داده شدند. میزان کاهش وزن نمونه نسبت به وزن نمونه اولیه به عنوان مقدار رطوبت فیلم گزارش گردید (Abdollahi et al., 2013).

ارزیابی نفوذپذیری نسبت به بخار آب هیدروژل‌های تولیدی

نفوذپذیری نسبت به بخار آب بر اساس تغییرات وزنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر اساس روش مصوب ASTM^۱ به شماره ۹۵-۹۶ E انجام شد.

ارزیابی حلالیت هیدروژل‌های تولیدی

قطعات فیلم‌های هیدروژلی تولیدی به ابعاد ۲×۳ سانتی‌متر مربع بریده و داخل آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. بعد از آن گذاری فیلم‌ها توزین (W_1) و درون ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر ۲۵ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. پس از سپری شدن زمان لازم محلول حاصل از کاغذ صافی وزن شده عبور و در ادامه کاغذ صافی به همراه نمونه رسیدن به وزن ثابت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (W_2) و در نهایت حلالیت هیدروژل‌ها از رابطه ۱ محاسبه شد (Mossavi et al., 2019).

$$WS (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

ارزیابی زاویه تماس هیدروژل‌های تولیدی

جهت اندازه‌گیری زاویه تماس فیلم‌های زیستی از گونیومتر PG-X (Thwing-Albert Instrument Co., USA) استفاده شد. میکرولیتر آب دیونایزر بر سطح فیلم به ابعاد ۵×۵ سانتی‌متر ریخته و

(Rubilar et al., 2013)، اسانس لیمو در فیلم ژلاتین (Ahmad et al., 2012)، اسانس پونه کوهی در فیلم نشاسته-کیتوزان (Pelissari et al., 2009) اشاره کرد. از طرفی بسته به ماهیت ترکیبات، افزایش نفوذپذیری به بخار آب در برخی از فیلم‌های زیستی گزارش شده است که از این بین می‌توان به اثر افزودن آویشن شیرازی در فیلم ژئین (Kashiri et al., 2017)، کارواکرول در فیلم بر پایه نشاسته (همایونی و همکاران، ۲۰۱۶)، اسانس آویشن، میخک و دارچین در فیلم بر پایه کیتوزان (Hosseini et al., 2009)، کارواکرول در فیلم بر پایه ژلاتین (Kavoosi et al., 2013) و اسانس سیر به فیلم بر پایه آلژینات (Pranoto et al., 2005) اشاره کرد.

رویکردهای نوین مبتنی بر کاربرد محصولات جانبی حاصل از کارخانجات مواد غذایی در تولید محصولات دوست‌دار طبیعت مورد توجه پژوهشگران و صنعت‌گران قرار گرفته است. با توجه به این که تاکنون در حوزه بسته‌بندی فعال از محصولات جانبی صنعت تولید آرد پژوهشی صورت نگرفته است، لذا هدف از این پژوهش بررسی تأثیر غلظت کارواکرول در غلظت ۵ و ۱۰ بر ویژگی‌های فیزیکی (نفوذپذیری نسبت به بخار آب و ...)، مکانیکی فیلم‌های هیدروژل بر پایه آرد فیلتر و نیز ارزیابی فعالیت ضدباکتری (آشورشی‌کلاسی و لیستریامونوسایتوزن) و ضد قارچ (آسپرژیلوس نایجر) بود.

مواد و روش‌ها

آرد فیلتر گندم با ۱۱/۲۵ درصد رطوبت، ۱۴/۰۳ درصد پروتئین و ۶۲/۷ درصد نشاسته (آرد زاهدی گرگان)، گلیسرول (مرک، آلمان)، کارواکرول (سیگما، آمریکا) و هیدروکسید سدیم (تیتراکم، ایران)، نوترینت آگار و سیب‌زمینی دکستروز آگار (مرک، آلمان) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

تولید فیلم هیدروژلی

در این پژوهش با استفاده از تکنیک قالب‌گیری مطابق روش موسوی و همکاران (۲۰۱۹) فیلم هیدروژلی تولید شد. در این روش محلول آبی حاوی ۶ درصد (وزنی-وزنی) آرد فیلتر گندم آماده و به منظور انحلال پروتئین‌ها pH محلول حدود ۱۰/۷ تنظیم شد. محلول حاصل از این مرحله به مدت ۳۰ دقیقه به منظور ژلاتینه شدن نشاسته در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری شیکردار قرار گرفت. در ادامه فرآیند پس از کاهش دمای بن‌ماری به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد گلیسرول در غلظت مختلف ۳۵ درصد نسبت به وزن پلیمر به محلول اضافه و به مدت ۱۵ دقیقه روی بن‌ماری شیکردار قرار داده شد. پس از همگن شدن نرم‌کننده کارواکرول در غلظت ۵ و ۱۰ درصد به محلول فیلم، ۲۰ میلی‌لیتر از محلول نهایی داخل پلیت‌هایی به قطر ۱۰×۱۰ سانتی‌متر

نانومتر بیانگر ابتدای فاز سکون می‌باشد). در مرحله بعد برای رسیدن به فاز لگاریتمی رشد، ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی آماده شده، در ۱۰ میلی‌لیتر نوترینت براث تلقیح و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد تا حصول دانسیته نوری ۰/۲ در طول موج ۶۰۰ نانومتر نگهداری شد (Kashiri et al., 2019).

جهت آماده سازی محلول قارچی، اسپرژیلوس نایچر (اسپرژیلوس ATCC v160 تهیه شده از کلسیون میکروبی پژوهش والنسیا) روی محیط سیب‌زمینی دکستروز آگار به مدت ۷-۱۰ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) گرمخانه‌گذاری شدند. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۵ درصد توپین ۸۰ اضافه و با میله شیشه‌ای خمیده استریل سطح کشت برای برداشت اسپور به آرامی خراش داده شد. به‌منظور حذف قطعات میسلوم، سوسپانسیون با استفاده از پشم شیشه فیلتر شد. بعد از شیک کردن آن، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۰ نانومتر میزان عبور نور سوسپانسیون مورد سنجش قرار گرفت (میزان عبور نور ۹۰ درصد برای به‌دست آوردن ۱۰^۶ کونیدیای قارچی در هر میلی‌لیتر سوسپانسیونی با غلظت تقریباً مورد نیاز است (Heras-Mozos et al., 2019).

ارزیابی خاصیت ضدباکتریایی فیلم هیدروژلی حاوی کارواکرول در محیط جامد

۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی با استفاده از سوآپ استریل، روی محیط کشت تریپتون سوی آگار (باکتری) و سیب زمینی دکستروز آگار (قارچ) پخش گردید. فیلم‌های هیدروژلی به قطر ۸ سانتی‌متر در سطح فوقانی پلیت‌ها (بدون تماس مستقیم با میکروارگانیزم) چسبانده شدند. در ادامه جهت کاهش خروج ترکیبات فرار موجود در اسانس، هر یک از پلیت‌ها با پارافیلیم محصور و در گرمخانه‌گذاری شدند (۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت (ارزیابی ویژگی ضدباکتریایی) و ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۵ روز). نتایج فعالیت ضد میکروبی در فاز بخار نیز بر اساس شدت تأثیرگذاری با اصطلاحاتی نظیر بازدارندگی کامل (+++) (متوقف کامل رشد)، بازدارندگی نسبی (++) (اندکی رشد میکروبی)، کاهش قابل مشاهده در دانسیته میکروبی (+) (تقلیل اندک در مقایسه با نمونه شاهد رشد میکروبی) و در نهایت فاقد بازدارندگی (-) (رشد کامل میکروارگانیزم) گزارش گردید (Kashiri et al., 2017).

ارزیابی خاصیت ضدباکتریایی فیلم هیدروژلی حاوی کارواکرول در محیط مایع

۰/۲۵ گرم از فیلم‌های پودر نرم گندم حاوی ۵ و ۱۰ درصد کارواکرول در ۱۰ میلی‌لیتر محلول نوترینت براث در شرایط کاملاً استریل قرار داده شد و ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری‌های *اشرشیا کلائی* و *لیستریا مونوسیتوژنز* در مرحله رشد لگاریتمی به آن

تانژانت زاویه قطره آب با سطح فیلم در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد طی مدت یک دقیقه تعیین گردید (Ojagh et al., 2010).

ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی هیدروژل‌های تولیدی

ویژگی‌های مکانیکی با استفاده از بافت‌سنج (AT-XT-Plus، Stable Micro Systems, Surrey UK) و نرم‌افزار مربوطه (Texture Expert 1.05) با نیرویی معادل ۵۰ نیوتن اندازه‌گیری شد. نوارهای فیلم به ابعاد عرض ۲۵ میلی‌متر و طول ۱۰۰ میلی‌متر بر اساس روش (ASTM D-۸۸۲) برش داده شدند. فاصله بین دو فک ۵ سانتی‌متر و سرعت بارگذاری ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم گردید. ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها شامل مقاومت کششی (TS) با تقسیم حداکثر نیرو (F_{max}) به سطح اولیه (A) بر حسب مگاپاسکال و افزایش طول تا نقطه شکست (% EAB) با نسبت افزایش طول فیلم (ΔL) در نقطه پاره شدن به طول اولیه (L_0) بر حسب درصد مطابق با رابطه ۲ و ۳ محاسبه گردیدند (ASTM, 2009).

$$TS = \frac{F_{max}}{A} \quad (2)$$

$$EAB = \frac{\Delta L}{L} \times 100 \quad (3)$$

ارزیابی رنگ‌سنجی هیدروژل‌های تولیدی

ارزیابی رنگ فیلم‌های هیدروژلی با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج Lovibond (CAM- system England 500) تعیین گردید صفحه استاندارد رنگ سفید به‌عنوان پس‌زمینه با مشخصات $L^*=97/1$, $a^*=0/13$, $b^*=1/18$ برای اندازه‌گیری رنگ مورد استفاده قرار گرفت. اندیس L^* توصیف‌کننده روشنی (صفر= سیاه و ۱۰۰= سفید) در نظر گرفته شد. در تعریف رنگ نمونه‌ها اندیس a^* بیانگر قرمزی (مثبت) و سبزی (منفی) و اندیس b^* نشان‌دهنده زردی (مثبت) و آبی (منفی) بود. اختلاف رنگی کل (ΔE) و اندیس سفیدی (WI) مطابق رابطه‌های ۴ و ۵ محاسبه گردید (Kashiri et al., 2017).

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2} \quad (4)$$

$$WI = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{1/2} \quad (5)$$

ارزیابی ویژگی‌های ضد میکروبی هیدروژل‌های تولیدی آماده‌سازی سویه‌های

جهت انجام آزمون‌های میکروبی، باکتری‌ها روی محیط کشت نوترینت آگار در ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. در مرحله بعد به منظور فعال‌سازی باکتریایی یک لوپ باکتری به ۱۰ میلی‌لیتر نوترینت براث تلقیح و به مدت ۲۴ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید (دانسیته نوری ۰/۱ در طول موج ۶۰۰

افزاده گردید. در ادامه نمونه‌های تلقیح شده با سلول‌های میکروبی در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. با توجه به کدورت ایجاد شده در بطری‌های حاوی فیلم رقت‌سازی با محلول سرم فیزیولوژی انجام و در محیط کشت نوترینت آگار جهت شمارش تعداد میکروب‌ها کشت داده شدند و پس از ۲۴ ساعت نگهداری در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد تعداد کلنی‌ها شمارش گردیدند (Kashiri et al., 2019)

بررسی ریز ساختارهای فیلم‌های تولیدی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

نمونه‌های فیلم پس از خشک کردن در دسیکاتور حاوی سیلیکاژل مطابق روش موسوی و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد.

تأثیر غلظت کارواکرول بر رطوبت فیلم‌های هیدروژلی

تأثیر افزودن کارواکرول بر رطوبت فیلم‌های تولیدی در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت کارواکرول از ۵ درصد به ۱۰ درصد رطوبت فیلم‌ها از $13/18 \pm 1/24$ درصد به $9/85 \pm 0/51$ درصد کاهش یافت. اسانس‌ها ترکیباتی آب‌گریز هستند که در قابلیت جذب آب فیلم‌ها تأثیر گذارند که با نتایج سالارباشی و همکاران (۲۰۱۳) مبنی بر کاهش رطوبت با افزودن اسانس آویشن شیرازی و پونه کوهی به فیلم بر پایه پلی‌ساکاریدهای محلول سوپا مشابهت داشت. جوکی و همکاران (۲۰۱۴) افزودن اسانس پونه کوهی به فیلم بر پایه دانه به و افزایش رطوبت فیلم‌ها را به تخریب شبکه پلی‌مر و تشکیل پیوند هیدروژنی بیشتر بین پلی‌مر و آب نسبت دادند. این در حالی است که نتایج پژوهش حاضر با نتایج اجاق و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر کاهش رطوبت فیلم‌های بر پایه کیتوزان با افزودن اسانس دارچین مغایرت داشت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. اثر تیمارهای مورد بررسی با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) ارزیابی گردید و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 8.7 و رسم نمودار با اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر غلظت کارواکرول بر ضخامت فیلم‌های هیدروژلی

همان‌طوری که در جدول ۱ مشاهده می‌شود با افزودن کارواکرول، ضخامت فیلم‌های هیدروژلی بر پایه آرد فیلتر به‌طور افزایش معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد نشان داد که از این حیث با نتایج برخی از پژوهشگران مبنی بر افزایش ضخامت فیلم‌های بر پایه سوپا

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های هیدروژلی آرد فیلتر گندم حاوی کارواکرول

فیلم	ضخامت (میلی‌متر)	رطوبت (درصد)	حلالیت در آب (درصد)	نفوذپذیری به بخار آب (10^{-10} گرم متر ثانیه پاسکال)	زاویه تماس
FPW	$0/135 \pm 0/07^c$	$13/18 \pm 1/24^a$	$40/06 \pm 1/5^a$	$1/14 \pm 0/12^a$	$41/10 \pm 0/72^b$
FPW+5%c	$0/158 \pm 0/06^b$	$11/35 \pm 0/71^{ab}$	$38/51 \pm 1/2^{ab}$	$1/2 \pm 0/42^a$	$45/43 \pm 0/34^b$
FPW+10%c	$0/174 \pm 0/04^a$	$9/85 \pm 0/51^b$	$37/01 \pm 0/63^b$	$1/32 \pm 0/23^a$	$55/21 \pm 0/49^a$

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

محسوب می‌شود. همان‌طوری که در جدول ۱ نشان داده شده است زاویه تماس فیلم هیدروژل فاقد کارواکرول برابر $41/10 \pm 0/72$ درجه تعیین گردید. زاویه تماس هیدروژل‌های تولیدی با افزایش غلظت کارواکرول از ۵ درصد ($45/43 \pm 0/34$ درجه) به ۱۰ درصد ($55/21 \pm 0/49$ درجه) زاویه تماس هیدروژل‌های تولیدی $21/50$

تأثیر غلظت کارواکرول بر زاویه تماس فیلم‌های هیدروژلی

زاویه تماس زاویه‌ای است که اگر یک قطره از یک مایع مشخص بر سطح جامد قرار گیرد، بین سطح جامد و هوا تشکیل می‌شود. از آن جایی که فیلم‌های کربوهیدراتی ماهیت آب‌دوستی دارند، اندازه‌گیری زاویه تماس آب، شاخص خوبی برای تعیین میزان آب‌دوست بودن آن‌ها

چگونگی تشکیل فیلم قرار دارد. نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های هیدروژلی بر پایه آرد فیلتر در جدول ۱ نشان داده شده است. نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم هیدروژلی فاقد کارواکرول برابر $10^{-1} \times 1/14$ (گرم متر ثانیه پاسکال) بود. همان‌طوری که مشاهده شد با افزایش غلظت کارواکرول تغییرات معنی‌داری در نفوذپذیری نسبت به بخار آب مشاهده نشد ($P > 0.05$) که از این حیث با نتایج برخی از پژوهشگران مطابقت داشت (Azadbakht et al., 2018; Hosseini et al., 2009). همچنین لازم به ذکر است نتایج پژوهش حاضر با گزارش برخی از پژوهشگران مبنی بر افزودن اسانس برگ چای در فیلم هیدروکسی پروپیل متیل و اسانس دارچین در فیلم کیتوزان (Ojagh et al., 2010) مغایرت داشت. در همین راستا بر اساس گزارش Dhumal و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر نقش اسانس‌ها به‌عنوان نرم‌کننده در بستر پلی‌مری و تاثیر آن در تسریع انتقال رطوبت و از سوی دیگر ماهیت آب‌گریزی اسانس و کاهش توانایی انتقال رطوبت در فیلم‌های زیستی می‌توان اظهار کرد که اثربخشی اسانس‌ها وابسته به پتانسیل آن‌ها در تغییرات بخش آب‌دوست و آب‌گریز بستر پلی‌مری است.

تأثیر غلظت کارواکرول بر ویژگی مکانیکی فیلم‌های هیدروژلی

نتایج حاصل از بررسی تأثیر کارواکرول بر خصوصیات مکانیکی فیلم پودر نرم گندم در شکل ۱ نشان داده شده است. کشش‌پذیری فیلم هیدروژلی بدون کارواکرول $2/23 \pm 31/16$ درصد تعیین گردید. همان‌طوری که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت کارواکرول کشش‌پذیری فیلم‌ها افزایش و مقاومت به کشش آن‌ها کاهش یافت (شکل ۱-الف) که دلیل این امر را می‌توان بر اساس گزارش همایونی و همکاران (۲۰۱۷) به جایگزینی اسانس با بخشی از پیوند قوی پلی‌مر-پلی‌مر با پیوند ضعیف پلی‌مر-اسانس نسبت داد که تضعیف ساختار فیلم و افزایش توانایی حرکت زنجیره‌های پلی‌مر موجب می‌گردد (Homayouni et al., 2017). در همین راستا در تطابق با یافته‌های این پژوهش می‌توان به افزودن آویشن شیرازی و پونه کوهی به فیلم نشاسته ذرت (Ghasemlou et al., 2013)، اسانس پونه کوهی به فیلم نشاسته-کیتوزان (Pelissari et al., 2009) اشاره کرد. از طرفی اجاق و همکاران (۲۰۱۰) افزودن اسانس دارچین به فیلم بر پایه کیتوزان در افزایش مقاومت به کشش فیلم و کاهش کشش‌پذیری مؤثر گزارش کردند. این پژوهشگران که علت این امر را کاهش حجم فضای آزاد و کاهش توانایی حرکت زنجیره‌های پلی‌مر به سبب پیوند قوی بین کیتوزان و اسانس نسبت دادند (Ojagh et al., 2010).

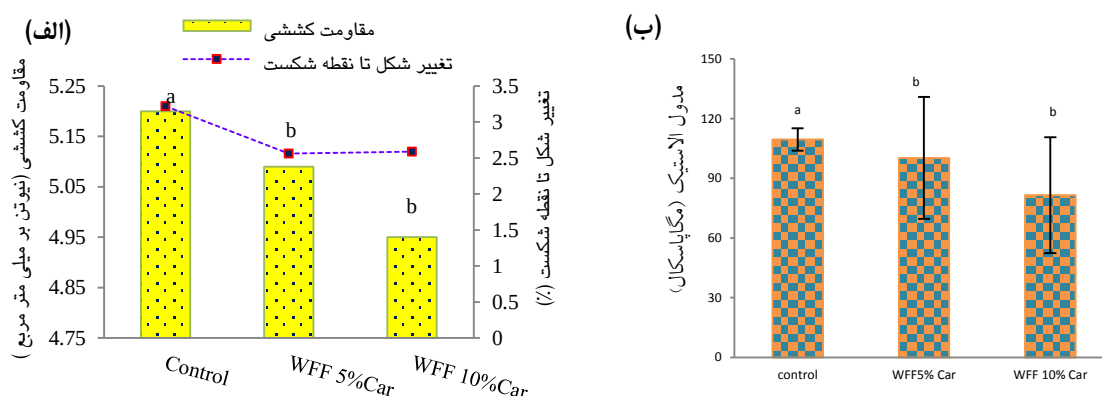
درصد افزایش نشان داد. این نتایج به معنی بهبود ویژگی‌های سطحی هیدروژل‌ها در حضور کارواکرول است دلیل این امر احتمالاً به ماهیت هیدروفوب بیشتر کارواکرول در مقایسه با هیدروژل‌ها بر پایه آرد فیلتر گندم مرتبط می‌باشد در همین راستا روند مشابهی در زاویه تماس فیلم‌های زیستی با افزودن کارواکرول (Dhumal et al., 2019) و پونه کوهی (Hashemi Gahruie, et al., 2017) به‌ترتیب در بستر پلی‌مری نشاسته-گوار و صمغ دانه ریجان گزارش شده است.

تأثیر غلظت کارواکرول بر حلالیت در آب فیلم‌های هیدروژلی

قابلیت انحلال در آب یکی از ویژگی‌های مهم در انتخاب فیلم جهت کاربردهای مختلف است. هنگامی که بسته‌بندی مواد غذایی با فعالیت آبی بالا مد نظر است، حلالیت در آب یک ویژگی نامطلوب درحالی که مواردی نظیر ریزپوشانی ترکیب مغذی حلالیت در آب ویژگی مطلوب تلقی می‌شود. استفاده از ترکیبات لیپیدی یکی از راهکارهای افزایش مقاومت نسبت به آب پلی‌مرهای بسته‌بندی به شمار می‌رود (Ghasemlou et al., 2013). لازم به ذکر است مقایسه عملکرد اسانس در فیلم‌ها وابسته به ماهیت پلی‌مر و نیز اسانس باشد (Atarés and Chiralt, 2016). حلالیت در آب فیلم‌های هیدروژلی حاوی کارواکرول در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده شد با افزایش غلظت کارواکرول از ۵ درصد به ۱۰ درصد حلالیت فیلم‌ها از 0.63 ± 0.06 درصد به 1.5 ± 0.37 درصد کاهش نشان داد از این حیث با نتایج Dhumal و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر کاهش حلالیت فیلم زیستی با افزودن کارواکرول مطابقت داشت. در همین راستا Atef و همکاران (۲۰۱۵) دلیل کاهش حلالیت فیلم‌ها حاوی اسانس را به برهم‌کنش اسانس-پلی‌مر و جلوگیری از تشکیل پیوند بین پلی‌مر-آب نسبت دادند.

تأثیر غلظت کارواکرول بر نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های هیدروژلی

یکی از مهم‌ترین کاربردهای بسته‌بندی در مواد غذایی کاهش نرخ انتقال رطوبت و گازها بین غذا با محیط اطراف می‌باشد. تلاش‌های بسیاری به‌منظور افزایش بازدارندگی در برابر بخار آب فیلم‌ها صورت پذیرفته است. نقش ترکیبات لیپیدی نظیر اسانس‌ها در بهبود مانعت‌کنندگی در برابر نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های زیستی مورد بررسی قرار گرفته است (Dhumal et al., 2019, Pelissari et al., 2009, 2005). اگرچه انتقال بخار آب از طریق بخش‌های آبدوست پلی‌مر رخ می‌دهد، اما قابل ذکر است نفوذپذیری به بخار آب تحت تأثیر نسبت ترکیبات آب‌گریز و آب‌دوست فیلم، فرمولاسیون و



شکل ۱- ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های هیدروژلی تولیدی

شاخص زردی فیلم‌های تولیدی با افزودن کارواکرول افزایش یافت که دلیل تغییر در این شاخص بر اساس گزارش Dhumal و همکاران (۲۰۱۹) به پیگمان‌های موجود در کارواکرول نسبت داده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق با گزارش سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش شاخص زردی با افزودن اسانس آویشن شیرازی در فیلم زئین (Kashiri *et al.*, 2017)، کارواکرول در فیلم نشاسته- صمغ ریحان (Dhumal *et al.*, 2019)، اسانس سیر در فیلم بر پایه آلزینات (Pranoto *et al.*, 2005) و نیز اسانس آویشن شیرازی و پونه کوهی در فیلم بر پایه نشاسته ذرت (Ghasemlou *et al.*, 2013) مطابقت داشت.

تأثیر غلظت کارواکرول بر رنگ سطحی فیلم‌های هیدروژلی

نوع مواد افزودنی با توجه به ماهیت و چگونگی پراکنش آن‌ها در محلول تشکیل دهنده فیلم می‌تواند منجر به بروز تغییراتی در پارامترهای رنگی فیلم تولیدی گردد (Dhumal *et al.*, 2019). به بیان دیگر شدت تغییرات رنگی فیلم می‌تواند تحت تأثیر ساختار پلی‌مر و پیگمان‌های رنگی ماده افزودنی و پلی‌مر قرار دارد. فیلم‌های هیدروژلی آرد فیلتر گندم (شاهد)، ظاهری شفاف و رنگی متمایل به زرد داشت. تأثیر افزودن کارواکرول بر ویژگی‌های رنگی فیلم‌های هیدروژلی آرد فیلتر گندم در جدول ۲ نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود افزودن کارواکرول تغییر معنی‌داری بر شفافیت فیلم نداشت ($P > 0.05$).

جدول ۲- تأثیر کارواکرول بر ویژگی‌های رنگی فیلم‌های تولیدی

فیلم	L*	a*	b*	ΔE	YI	WI
H-FPW	۹۰/۵۶±۰/۴۵ ^a	۱/۵۶±۰/۴۰ ^a	۱۰/۳۶±۰/۳۲ ^b	۱۰/۸۵±۰/۰۵ ^a	۴/۸۹±۰/۱۲ ^b	۸۵/۸۸±۰/۰۶ ^a
H-FPW+5% C	۹۰/۲۳±۰/۰۶ ^a	۱/۶±۰/۱ ^a	۱۰/۷±۰/۲ ^{ab}	۱۰/۹۰±۰/۱۴ ^a	۵/۰۳±۰/۰۹ ^{ab}	۸۵/۸۷±۰/۱۳ ^a
H-FPW+10% C	۹۰/۹۸±۰/۰۷ ^a	۱/۷±۰/۴۳ ^a	۱۱/۱±۰/۲ ^a	۱۱/۲۱±۰/۳۱ ^a	۵/۲۲±۰/۱۲ ^a	۸۵/۵۹±۰/۲۸ ^a

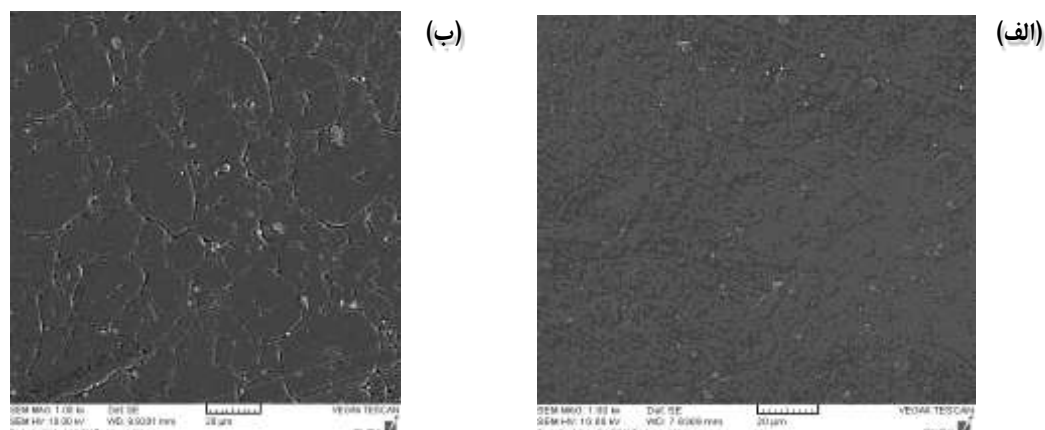
FPW هیدروژل آرد فیلتر گندم، FPW+5% C، هیدروژل آرد فیلتر گندم حاوی ۵ درصد کارواکرول، PW+10% C هیدروژل آرد فیلتر گندم حاوی ۱۰ درصد کارواکرول

*اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها ($P < 0.05$) به صورت حروف کوچک در هر ستون نشان داده شده است. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$).

فیلمی موجب ایجاد فضاهای خالی در ساختار فیلم گردید. وجود این حفره‌ها و فضاهای خالی می‌تواند تایدی بر افزایش نفوذپذیری نسبت به بخار آب و کاهش مقاومت کششی فیلم‌های هیدروژلی تولیدی تلقی گردد.

ارزیابی شکل‌شناسی فیلم‌های هیدروژلی آرد فیلتر گندم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصاویر سطحی فیلم هیدروژلی آرد فیلتر گندم فاقد کارواکرول (شاهد) و فیلم هیدروژلی حاوی کارواکرول در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، افزودن کارواکرول در محلول



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلم هیدروژلی آرد فیلتر گندم (الف) و فیلم هیدروژلی آرد فیلتر گندم حاوی کارواکرول (ب)

فیلتر گندم (شاهد) فاقد هر گونه فعالیت ضد-باکتریایی و قارچی بود. با افزودن ۵ درصد کارواکرول بازدارندگی متوسط (++) در جمعیت باکتری در سطح محیط کشت جامد مشاهده شد. با افزایش غلظت کارواکرول به ۱۰ درصد بازدارندگی باکتریایی نسبی (+++) علیه دو باکتری مورد بررسی مشاهده شد.

ارزیابی ویژگی‌های ضد میکروبی بخارهای کارواکرول در مدل غذایی جامد

تأثیر کارواکرول در فیلم هیدروژلی آرد فیلتر گندم در محیط جامد به صورت غیرمستقیم مهار رشد باکتری (اثرشیاکلای و لیستریامونوسایتوزنز) و قارچ / اسپریلوس نایجر مورد ارزیابی قرار گرفت. همان-طوری که در جدول ۳ نشان داده شده است، فیلم هیدروژلی آرد

جدول ۳- تأثیر غلظت کارواکرول بر ویژگی باکتریایی فیلم هیدروژلی آرد فیلتر گندم

نوع میکروارگانیسم	فیلم (شاهد)	فیلم حاوی ۵ درصد کارواکرول	فیلم حاوی ۱۰ درصد کارواکرول
لیستریامونوسایتوزنز	-	++	+++
اثرشیاکلای	-	++	+++

+ (بازدارندگی اندکی)، ++ (بازدارندگی نسبی)



شکل ۳- تصاویر ویژگی ضد میکروبی فیلم‌های هیدروژلی آرد فیلتر گندم علیه اسپریلوس نایجر

آویشن شیرازی در فیلم زئین در محیط جامد گزارش کردند که در مقایسه با اثر ضدباکتریایی فیلم هیدروژلی حاوی کارواکرول در غلظت ۱۰ درصد در پژوهش حاضر می‌توان بیان داشت بخارهای کارواکرول

تأثیر اسانس در ترکیب فیلم‌های زیستی بر مهار رشد باکتری‌های و افزایش فعالیت بازدارندگی اسانس‌ها با افزایش غلظت گزارش شده است (Ghasemlou et al., 2013; Jouki et al., 2013). در همین راستا Kashiri و همکاران (۲۰۱۷) عدم فعالیت ضدباکتریایی اسانس

در بستر هیدروژلی بسیار موفق‌تر بوده است. از طرفی فعالیت ضد-باکتریایی اسانس اکالیپتوس در هیدروژل کیتوزان (Azadbakht et al, 2018) در بستر جامد قابل رقابت قلمداد گردد. علاوه بر ویژگی ضدباکتریایی، ویژگی ضدقارچی علیه *آسپریلوس نایجر* هیدروژل حاوی ۵ و ۱۰ درصد کارواکرول مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). همان‌طوری که مشاهده می‌شود در غلظت ۵ درصد اسپورزایی قارچ کنترل و در غلظت ۱۰ درصد کارواکرول بازدارندگی کامل شده است. با توجه به این نتایج می‌توان بیان داشت بخارهای کارواکرول ویژگی ضدقارچی بهتری در مقایسه با دو باکتری در بستر فیلم هیدروژل نشان داد که از حیث کاربردی می‌تواند مورد توجه قرار گرفته شود.

تأثیر غلظت کارواکرول بر ویژگی ضد میکروبی فیلم‌های هیدروژلی در مدل غذایی مایع

اثر ضدباکتریایی کارواکرول در فیلم هیدروژلی در تماس مستقیم با محیط مایع در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد علیه *لیستریا مونوسیتوژنز* و *اشرشیا کلاهی* بررسی شد. نتایج اثر بازدارندگی فیلم‌های حاوی ۵ و ۱۰ درصد کارواکرول بر علیه دو باکتری فوق در جدول ۳ نشان داده شده

جدول ۳- ارزیابی ویژگی ضد میکروبی فیلم زیست فعال آرد فیلتر گندم حاوی کارواکرول در برابر *اشرشیا کلاهی* و *لیستریا مونوسیتوژنز* با لگاریتم تعداد واحد کلنی $\text{Log}(\text{cfu/ml})$ و اندیس کاهش لگاریتمی (LRV)

لیستریا مونوسیتوژنز		اشرشیا کلاهی		نوع فیلم
LRV	$\text{Log}(\text{cfu/ml})$	LRV	$\text{Log}(\text{cfu/ml})$	
	$8/92 \pm 0/03$		$8/8 \pm 0/02$	نمونه شاهد (کنترل میکروبی)
۱/۳۴	$7/58 \pm 0/09$	۱/۱۶	$7/72 \pm 0/03$	H-FPW+5% C
	$8/91 \pm 0/01$		$8/95 \pm 0/02$	نمونه شاهد (کنترل میکروبی)
۲/۷۱	$6/19 \pm 0/15$	۲/۳۳	$6/62 \pm 0/07$	% C ۱۰ H-FPW+

هیدروژل آرد فیلتر گندم حاوی ۱۰ درصد کارواکرول FPW+10%C هیدروژل آرد فیلتر گندم حاوی ۵ درصد کارواکرول، C FPW+5%

هیدروژلی بر پایه آرد گندم گردید. خواص ضدقارچی بخارهای کارواکرول علیه *آسپریلوس نایجر* در فیلم هیدروژلی در محیط جامد در مقایسه با باکتری مورد بررسی بیشتر بود. کاهش اندیس لگاریتمی فیلم فعال تولیدی در مدل غذایی مایع علیه *لیستریا مونوسیتوژنز* بیش از *اشرشیا کلاهی* بود. ارزیابی فیلم هیدروژلی آرد فیلتر گندم حاوی ۱۰ درصد کارواکرول سامانه واقعی غذایی (کالباس به‌عنوان سامانه غذایی جامد) در دسترس بررسی که آینده نزدیک ارائه خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش آرد فیلتر گندم به‌عنوان محصول جانبی ارزان قیمت صنعت آسیابانی گندم جهت تولید فیلم‌های هیدروژلی زیستی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اهمیت کاهش مصرف مواد شیمیایی جهت کنترل رشد میکروبی کارواکرول در دو غلظت ۵ و ۱۰ درصد علاوه بر بروز خواص ضد میکروبی مطلوب در مدل غذایی جامد و مایع سبب افزایش مقاومت در برابر آب و بهبود خواص آب‌گریزی فیلم

منابع

- Abdollahi, M., Alboofetileh, M., Behrooz, R., Rezaei, M., & Miraki, R. 2013. Reducing water sensitivity of alginate bio-nanocomposite film using cellulose nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules* 54, 166-173.
- Aguirrea, A., Borneoa, R.B., & Leon, A.E. 2013. Antimicrobial, mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil. *Food Bioscience* 1, 2-9.

- Ahmad, M., Benjakul, S., Prodpran, T., & Agustini, T.W. 2012. Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils. *Food Hydrocolloids* 28, 189-199.
- Andrade-Mahecha, M.M., Tapia-Blácido, D.R., & Menegalli, F.C. 2012. Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate Polymers* 88, 449-458.
- ASTM, 2009. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting D882-02, ASTM, Annual Book of American Standard Testing Methods., Philadelphia, PA.
- ASTM, E., Standard test methods for water vapor transmission of materials, ASTM E.
- Atarés, L., Chiralt, A., 2016. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in food science & technology* 48, 51-62.
- Atef, M., Rezaei, M., & Behrooz, R. 2015. Characterization of physical, mechanical, and antibacterial properties of agar-cellulose bionanocomposite films incorporated with savory essential oil. *Food Hydrocolloids* 45, 150-157.
- Azadbakht, E., Maghsoudlou, Y., Khomiri, M., & Kashiri, M. 2018. Development and structural characterization of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil: Potential as an antimicrobial carrier for packaging of sliced sausage. *Food Packaging and Shelf Life* 17, 65-72.
- Ben Arfa, A., Combes, S., Preziosi-Belloy, L., Gontard, N., & Chalier, P. 2006. Antimicrobial activity of carvacrol related to its chemical structure. *Letters in applied microbiology* 43, 149-154.
- Betz, M., & Kulozik, U. 2011. Whey protein gels for the entrapment of bioactive anthocyanins from bilberry extract. *International Dairy Journal* 21, 703-710.
- Borneo, R., Alba, N., & Aguirre, A. 2016. New films based on triticale flour: Properties and effects of storage time. *Journal of Cereal Science* 68, 82-87.
- Bravin, B., Peressini, D., & Sensidoni, A. 2004. Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid-based edible films. *Journal of agricultural and food chemistry* 52, 6448-6455.
- Briassoulis, D., & Giannoulis, A. 2018. Evaluation of the functionality of bio-based food packaging films. *Polymer Testing* 69, 39-51.
- Coughlan, K., Shaw, N., Kerry, J., & Kerry, J. 2004. Combined Effects of Proteins and Polysaccharides on Physical Properties of Whey Protein Concentrate-based Edible Films. *Journal of food science* 69.
- Delcour, J.A., & Hosney, R.C. 2010. Principles of cereal science and technology. St. Paul, MN, USA: AACC International.
- Dhumal, C.V., Ahmed, J., Bandara, N., & Sarkar, P. 2019. Improvement of antimicrobial activity of sago starch/guar gum bi-phasic edible films by incorporating carvacrol and citral. *Food Packaging and Shelf Life*, 21, 100380
- Dias, A.B., Müller, C.M.O., Larotonda, F.D.S., & Laurindo, J.B. 2010. Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science* 51, 213-219.
- Dorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., Kostić, I., Komes, D., Bugarski, B., & Nedović, V. 2015. Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews* 7, 452-490.
- Drakos, A., Pelava, E., & Evageliou, V. 2018. Properties of flour films as affected by the flour's source and particle size. *Food Research International* 107, 551-558.
- Farag, R., Daw, Z., & Abo-Raya, S. 1989. Influence of some spice essential oils on *Aspergillus parasiticus* growth and production of aflatoxins in a synthetic medium. *Journal of Food Science* 54, 74-76.
- Ghasemlou, M., Aliheidari, N., Fahmi, R., Shojaei-Aliabadi, S., Keshavarz, B., Cran, M.J., & Khaksar, R. 2013. Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. *Carbohydrate polymers* 98, 1117-1126.
- Gutiérrez, T.J. 2018. Are modified pumpkin flour/plum flour nanocomposite films biodegradable and compostable, *Food Hydrocolloids* 83, 397-410.
- Gutiérrez, T.J., Suniaga, J., Monsalve, A., & García, N.L. 2016. Influence of beet flour on the relationship surface-properties of edible and intelligent films made from native and modified plantain flour. *Food Hydrocolloids* 54, Part B, 234-244.
- Hashemi Gahruie, H., Ziaee, E., Eskandari, M. H., & Hosseini, S. M. H. (2017). Characterization of basil seed gum-based edible films incorporated with *Zataria multiflora* essential oil nanoemulsion. *Carbohydrate Polymers*, 166, 93-103.
- Hemdane, S., Leys, S., Jacobs, P.J., Dornez, E., Delcour, J.A., & Courtin, C.M. 2015. Wheat milling by-products and their impact on bread making. *Food Chemistry* 187, 280-289.
- Heras-Mozos, R., Muriel-Galet, V., López-Carballo, G., Catalá, R., Hernández-Muñoz, P., & Gavara, R. 2019. Development and optimization of antifungal packaging for sliced pan loaf based on garlic as active agent and bread aroma as aroma corrector. *International journal of food microbiology*, 290, 42-48.
- Homayouni, H., Kavoosi, G., & Nassiri, S.M. 2017. Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of dispersion made from tapioca and gelatinized tapioca starch incorporated with carvacrol. *LWT* 77, 503-509.
- Hosseini, M., Razavi, S., & Mousavi, M. 2009. Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. *Journal of food processing and preservation* 33, 727-743.

- Jouki, M., Tabatabaei Yazdi, F., Mortazavi, S.A., & Koocheki, A. 2013. Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules* 62, 500-507.
- Jouki, M., Mortazavi, S.A., Yazdi, F.T., & Koocheki, A. 2014a. Optimization of extraction, antioxidant activity and functional properties of quince seed mucilage by RSM. *International Journal of Biological Macromolecules* 66, 113-124.
- Jouki, M., Yazdi, F.T., Mortazavi, S.A., & Koocheki, A. 2014b. Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *Food Hydrocolloids* 36, 9-19.
- Jagannath, J., Nanjappa, C., Das Gupta, D., & Bawa, A. 2003. Mechanical and barrier properties of edible starch-protein-based films. *Journal of applied polymer science* 88, 64-71.
- Kashiri, M., Cerisuelo, J.P., Domínguez, I., López-Carballo, G., Muriel-Gallet, V., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. 2017. Zein films and coatings as carriers and release systems of Zataria multiflora Boiss. essential oil for antimicrobial food packaging. *Food Hydrocolloids* 70, 260-268.
- Kashiri, M., López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., & Gavara, R. 2019. Antimicrobial packaging based on a LAE containing zein coating to control foodborne pathogens in chicken soup. *International Journal of Food Microbiology* 306, 108272.
- Kavoosi, G., Dadfar, S.M.M., Mohammadi Purfard, A., & Mehrabi, R. 2013. Antioxidant and antibacterial properties of gelatin films incorporated with carvacrol. *Journal of Food Safety* 33, 423-432.
- Lu, M., Li, Z., Liang, H., Shi, M., Zhao, L., Li, W., Chen, Y., Wu, J., Wang, S., Chen, X., Yuan, Q., & Li, Y. 2015. Controlled release of anthocyanins from oxidized konjac glucomannan microspheres stabilized by chitosan oligosaccharides. *Food Hydrocolloids* 51, 476-485.
- Luqin, X., Pengtao, H., Ruihua, M., & Jianghong, L. 2009. Application of TEM on Hydrogeological Exploration in Xinji No. 1 Coalmine. *Coal Geology of China*, S1.
- Mossavi, M., Kashiri, M., Maghsoudlou, Y., Khomiri, M., & Alami, M. 2019. mdrsjrns 15, 33-47.
- Mun, S., Kim, Y.-R., McClements, D.J., 2015. Control of β -carotene bioaccessibility using starch-based filled hydrogels. *Food chemistry* 173, 454-461.
- Muriel-Galet, V., López-Carballo, G., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. 2012. Antimicrobial food packaging film based on the release of LAE from EVOH. *International Journal of Food Microbiology* 157, 239-244.
- Neves, M.A.d., Kimura, T., Shimizu, N., & Shiiba, K. 2006. Production of alcohol by simultaneous saccharification and fermentation of low-grade wheat flour. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49, 481-490.
- Nouraddini, M., Esmaili, M., & Mohtarami, F. 2018. Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules* 120, 1639-1645.
- Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H., & Hosseini, S.M.H. 2010. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry* 122, 161-166.
- Ozel, B., Cikrikci, S., Aydin, O., & Oztop, M.H. 2017. Polysaccharide blended whey protein isolate-(WPI) hydrogels: A physicochemical and controlled release study. *Food Hydrocolloids* 71, 35-46.
- Pelissari, F.M., Andrade-Mahecha, M.M., Sobral, P.J.d.A., & Menegalli, F.C. 2013. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids* 30, 681-690.
- Pelissari, F.M., Grossmann, M.V., Yamashita, F., & Pineda, E.A.G. 2009. Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch-chitosan films incorporated with oregano essential oil. *Journal of agricultural and food chemistry* 57, 7499-7504.
- Pires, C., Ramos, C., Teixeira, G., Batista, I., Mendes, R., Nunes, L., & Marques, A. 2011. Characterization of biodegradable films prepared with hake proteins and thyme oil. *Journal of Food Engineering* 105, 422-428.
- Pomeranz, Y. 1988. Wheat: Chemistry and Technology, Vol. I. St-Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Pranoto, Y., Rakshit, S.K., & Salokhe, V.M. 2005. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. *LWT- Food Science and Technology* 38, 859-865.
- Ramos, M., Beltrán, A., Peltzer, M., Valente, A.J.M., & Garrigós, M.d.C. 2014. Release and antioxidant activity of carvacrol and thymol from polypropylene active packaging films. *LWT- Food Science and Technology* 58, 470-477.
- Rojas-Graü, M.A., Raybaudi-Massilia, R.M., Soliva-Fortuny, R.C., Avena-Bustillos, R.J., McHugh, T.H., & Martín-Belloso, O. 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology* 45, 254-264.
- Romero, V., Borneo, R., Passalacqua, N., & Aguirre, A. 2016. Biodegradable films obtained from triticale (x Triticosecale Wittmack) flour activated with natamycin for cheese packaging. *Food Packaging and Shelf Life* 10, 54-59.
- Rubilar, J.F., Cruz, R.M.S., Silva, H.D., Vicente, A.A., Khmelinskii, I., & Vieira, M.C. 2013. Physico-mechanical properties of chitosan films with carvacrol and grape seed extract. *Journal of Food Engineering* 115, 466-474.
- Salarbashi, D., Tajik, S., Ghasemlou, M., Shojaei-Aliabadi, S., Shahidi Noghabi, M., & Khaksar, R. 2013. Characterization of soluble soybean polysaccharide film incorporated essential oil intended for food packaging. *Carbohydrate Polymers* 98, 1127-1136.

- Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. 2009. Characterization of edible films based on hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. *Food Hydrocolloids* 23, 2102-2109.
- Tsang, Y.F., Kumar, V., Samadar, P., Yang, Y., Lee, J., Ok, Y.S., Song, H., Kim, K.-H., Kwon, E.E., & Jeon, Y.J. 2019. Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International* 127, 625-644.
- Waggle, D., Lambert, M., Miller, G., Farrell, E., & Deyoe, C. 1967. Extensive analyses of flours and millfeeds made from nine different wheat mixes. 2. Amino acids, minerals, vitamins, and gross energy. *Cereal Chemistry* 44, 48-60.
- Wang, J., Xie, A., & Zhang, C. 2013. Feature of air classification product in wheat milling: Physicochemical, rheological properties of filter flour. *Journal of cereal science* 57, 537-542.
- Wichchukit, S., Oztop, M., McCarthy, M., & McCarthy, K. 2013. Whey protein/alginate beads as carriers of a bioactive component. *Food Hydrocolloids* 33, 66-73.



Investigating the effect of carvacrol on physical, mechanical and antimicrobial properties of bio-hydrogel film based on filter flour obtained from wheat milling process

M. Mossavi, M. Kashiri*, Y. Maghsoudlou, M. Khomiri, M. Alami

Received: 2020.01.23

Accepted: 2020.11.11

Introduction: Hydrogels are a three-dimensional network of polymeric matrices with the ability to absorb water through chemical or physical cross-linking. Recently, the development of bio-based hydrogel with the aim of reducing the use of fossil fuel is becoming interested. Wheat filter flour (WFF) is a by-product obtained from air-classification in the modern wheat milling industry. It contains a high level of non-endosperm materials with the ability of water absorption and bio-film making capacity. Nevertheless, hydrogel-based films usually display weak water resistance, flexibility problems, and gas barrier properties. Carvacrol as a phenolic component is used to improve the functional properties of film and reduce the growth of pathogenic and spoilage microorganisms.

Materials and Methods: Hydrogel based films were prepared by casting technique. Six grams of WFF was added to 100 ml of distilled water, the pH of the solution was adjusted near to 10.7 with NaOH solution (1 N). The dispersion was heated up to 85°C, with gentle stirring at 250 rpm for 30 min. Glycerol (35 g/100g of dry polymer) was then added and stirred for another 15 min. Carvacrol, as an active agent incorporated at two concentrations (5 and 10% (g/100g of dry polymer)) and stirred for another 15 min at 40°C and dried in a forced-air oven at 35± 5°C for 24 h. Physical (density, water-solubility, moisture content), mechanical, barrier and antimicrobial properties of active hydrogel-based film were determined. Antimicrobial properties of active hydrogel-based were evaluated in the vapor phase by using the micro-atmosphere method and liquid medium (immersion in broth) as a food model system. Statistical analyses were performed on a completely randomized design with the analysis of variance procedure using SAS software.

Results and Discussion: Increasing the carvacrol concentration in the film making solution led to decreasing the water solubility, moisture content, and hydrophobicity properties of WFF based films. The SEM observations confirmed a porous structure of the active hydrogel-based film. The highest water vapor permeability ($1.32 \times 10^{-10} \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) and the minimum water solubility ($37.01 \pm 0.63\%$) were observed in hydrogel film with 10% carvacrol. An increase in the concentration of carvacrol produced a greater growth inhibition zone for all microorganisms. The results in vapor phase showed that *A.niger* exhibited greater sensitivity to carvacrol than other studied bacteria. Hydrogel based films with 5% carvacrol in liquid food model system produced 1.16 and 1.34 log reduction against *E. coli* and *L. monocytogenes*, respectively. The greatest antibacterial activity was observed with films containing 10% carvacrol against *L. monocytogenes* (2.71 log reduction). This work suggested that the WFF hydrogel base film with 10% carvacrol can be used as an active packaging for improving the safety and shelf-life of food products.

Keywords: Wheat filter flour, Agro-industrial by-product, Carvacrol, Hydrogel, Antimicrobial packaging.

- Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

* Corresponding Author's Email: MKashiri@gau.ac.ir)



مقاله پژوهشی

بررسی اثر ترکیبی پودر کاهو (*Lactuca sativa*) و رازیانه (*Foeniculum vulgare*) به عنوان

منبع طبیعی نیتريت بر ویژگی‌های سوسیس بسته‌بندی شده تحت خلأ

زهرا یوسفی مجیر^۱ - علیرضا رحمن^{۲*} - مریم اوتادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

چکیده

با توجه به مخاطرات مصرف نگهدارنده‌های سنتزی مثل نیتريت و املاح آن در فرآورده‌های گوشتی تلاش‌های برای کاهش این ماده در این محصولات انجام شده است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی جایگزینی بخشی از نیتريت در فرمولاسیون سوسیس ۵۵ درصد بر اساس فرمول متداول یک واحد تولیدی انجام شد. برای این منظور، نمونه‌ها با ۱۲۰ ppm نیتريت و ترکیبی از پودر کاهو و رازیانه در قالب چهار تیمار شامل: T1 (۹۰ ppm نیتريت + ۳۰ ppm پودر کاهو و رازیانه)، T2 (۶۰ ppm نیتريت + ۶۰ ppm پودر کاهو و رازیانه)، T3 (۳۰ ppm نیتريت + ۹۰ ppm پودر کاهو و رازیانه) و T4 (۱۲۰ ppm پودر کاهو و رازیانه) و نمونه شاهد با ۱۲۰ ppm نیتريت (بدون پودر کاهو و رازیانه) تولید شدند. ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، میکروبی و حسی نمونه‌های تولیدی طی ۳۰ روز نگهداری در دمای یخچالی بررسی شد. نتایج نشان داد که کمترین میزان pH (۵/۲۷) در تیمار T1 در روز ۳۰ مشاهده شد ($p < 0.05$). کمترین میزان رطوبت (۵۶/۵۲ درصد) و خاکستر (۲/۴۳ درصد) مربوط به تیمار شاهد در روز ۳۰ بود ($p < 0.05$). اعمال سطوح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm پودر کاهو و رازیانه در تیمارها به ترتیب کاهش ۱۷، ۱۸، ۱۶ و ۲۴ درصد را در محتوی نیتريت نمونه‌ها را نشان داد ($p < 0.05$). بیشترین و کمترین میزان عدد پراکسید به ترتیب با مقادیر ۱/۱۵ meq O₂/Kg و ۰/۳ meq O₂/Kg مربوط به نمونه T4 در روز اول بود. در مورد شاخص تیوباریتوریک اسید نیز به ترتیب بیشترین و کمترین میزان مربوط به نمونه شاهد با مقدار ۲۴ mg Malone Aldehyde /Kg در روز ۲۰ و ۱۵/۷۶ mg Malone Aldehyde /Kg مربوط به نمونه T4 در روز ۳۰ بود ($p < 0.05$). میزان رشد باکتری‌ها در تیمارهای حاوی پودر کاهو و رازیانه و نیتريت کمتر بود ولی به طور کلی روند افزایشی در میزان بار میکروبی در تمامی تیمارها طی ۳۰ روز نگهداری مشاهده شد ($p < 0.05$). در حالی که در طی ۳۰ روز کلستریدیوم پرفرینجنس، کلی‌فرم، کپک و مخمر رشد نکرد ($P > 0.05$). در ارزیابی رنگ‌سنجی تیمارها، کمترین اندیس قرمزی (a^*) در تیمار T4 مشاهده شد. بیشترین و کمترین اندیس زردی (b^*) به ترتیب مربوط به تیمار T1 و T4 و متغیرهای مورد بررسی تأثیری بر پارامتر درخشندگی (L^*) نشان ندادند. نتایج ارزیابی حسی عدم تأثیر افزودن پودر کاهو و رازیانه به میزان ۶۰ ppm پودر بر طعم و بوی تیمارها و کاهش امتیاز عطر و بو در تیمارها را با افزایش پودر کاهو و رازیانه نشان داد. نتایج این پژوهش امکان جایگزینی موفق بخشی از نیتريت (حداقل ۶۰ ppm) را با پودر ترکیبی کاهو و رازیانه را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: پودر کاهو، پودر رازیانه، سوسیس، نیتريت

مقدمه

بین عوامل نیتروژن‌کننده، مشتق شده از نیتريت و آمین‌های ثانویه، حاصل از تخریب پروتئین و لیپیدها، به دلیل ماهیت سرطان‌زایی نگرانی‌های را ایجاد کرده است؛ بنابراین، ارائه فرآورده‌های گوشتی سالم‌تر از لحاظ میزان افزودنی‌های مثل نیتريت و نیتريت مورد تقاضای مصرف‌کننده است (Perea-Sanz et al., 2018) و در نتیجه پژوهش‌هایی بر جایگزینی نیتريت و نیتريت با استفاده از میوه‌ها و ادویه‌ها متمرکز شده است. سبزیجات به طور طبیعی به دلیل دارا بودن ترکیبات مغذی مانند بتاکاروتن، ویتامین‌ها (از جمله ویتامین‌های A و

نیتريت و نیتريت عملکردهای مهمی در تولید محصولات گوشتی دارند، این مواد به عنوان ماده افزودنی (عمل‌آوری نمکی) به منظور حفظ قرمزی گوشت و فعالیت ضد میکروبی آن‌ها در برابر انواع باکتری‌ها به ویژه کلستریدیوم بوتولینیوم و تولید سموم آن استفاده می‌شود؛ باید توجه داشت افزودن آن‌ها به دلیل خطرات سلامتی برای انسان و محیط زیست در دوزهای بالا بسیار محدود است (Perea-Sanz et al., 2019). همچنین، تولید نیتروز آمین‌ها در محصولات گوشتی با واکنش

(* نویسنده مسئول: Email: alireza_rahman@yahoo.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.86477

3 Curing Salt

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳ - دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

نیتريت (BFS، آلمان) و مواد لازم برای آزمایش‌ها از شرکت Merck آلمان تهیه شدند.

تهیه پودر کاهو و رازیانه

بعد از تهیه و شستشو و ضدعفونی کردن برگ‌های کاهو در آون (شیماز، ایران) با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵۲ ساعت خشک، توسط آسیاب برقی (IKA، آلمان) پودر شدند. دانه‌های رازیانه نیز بعد از جداسازی ناخالص‌ها توسط آسیاب برقی پودر شدند (Riyad et al., 2018).

تهیه سوسیس‌های کوکتل

فرمول سوسیس‌های تولیدی بر اساس فرمولاسیون ارائه شده توسط کارخانه فرآورده‌های گوشتی پاک تلیسه (۲۰۲) انجام شد. به‌منظور تهیه کوکتل‌ها، ابتدا گوشت با ۱/۳ یخ فرمولاسیون درون دستگاه مینی‌کاتر (Laska، اتریشی) با دمای صفر درجه سانتی‌گراد ریخته، خرد و مخلوط شدند (۶ min با دور ۱۵۰۰ rpm شروع و ۳۰۰۰ خاتمه)؛ سپس نیتريت و پودر کاهو و رازیانه مطابق با جدول ۱ به آن اضافه شدند، بعد از آن مابقی مواد اولیه به مخلوط حاصل افزوده و کاملاً مخلوط شدند. پس از چند دقیقه کاتریزاسیون روغن، مواد پرکننده و مابقی یخ به کاتر افزوده و به مدت ۴ تا ۵ دقیقه کاتریزاسیون ادامه یافت. بلافاصله بعد از اتمام کاتریزاسیون خمیر ترکیبی همورژن شده درون پوشش‌های پلی‌آمیدی ۵ لایه نفوذناپذیر نسبت به آب و با استفاده از دستگاه فیلر (Talsa، اسپانیا) پُر شد. بعد از پُر کردن، کوکتل‌ها با بخاردر دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت (تا رسیدن دمای مرکز کوکتل‌ها به ۷۲ °C)، حرارت داده شدند. سپس با دوش آب سرد محصول تا ۳۰ °C خنک پس به سردخانه ۴ °C انتقال داده شدند (ملکی کهکی و همکاران، ۱۳۹۶).

(E) و آنتی‌اکسیدان‌ها در پیشگیری از بسیاری از سرطان‌ها موثر هستند، علاوه بر این مطالعات نشان داده محدوده گسترده از نیتريت در سبزیجات وجود دارد یعنی حدود ۸۰ درصد از نیتريت موجود در رژیم غذایی از منبع سبزیجات، میوه‌ها تامین می‌شود. در میان سبزیجات کرفس، کاهو، چغندر و اسفناج میزان بالایی نیتريت دارند (Hord et al., 2017; Gassara et al., 2016). از طرفی برای تقویت اثر نیتريت در فرمولاسیون از ترکیبات احیاءکننده مختلف (مانند آسکوربات سدیم و اریتروبات سدیم) در فرآورده‌های گوشتی استفاده می‌شود (خالقی و همکاران، ۱۳۹۱). مطالعات متعدد داخل و خارج کشور استفاده جایگزینی موفق ادویه و سبزیجات را با نیتريت در فرآورده‌های گوشتی را نشان داده است. ملکی کهکی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند جایگزینی نیتريت با ۶۰ درصد عصاره کرفس از نظر شاخص قرمزی مطلوب‌ترین نمونه بود و از لحاظ طعم تفاوت معناداری با نمونه شاهد نداشت. Ozaki و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند افزودن ۱ درصد پودر عصاره تربچه اکسایش لیپیدها را در سوسیس تخمیری کاهش داد و جایگزین مناسبی برای نیتريت در این محصولات بود. همچنین Hwang و همکاران (۲۰۱۸)، نشان دادند پودر عصاره سبزیجات (اسفناج، کاهو، چغندر و کرفس) پتانسیل استفاده به‌عنوان جایگزین طبیعی نیتريت در سوسیس پخته را دارند. با توجه به تأیید سازمان غذا و دارو آمریکا در رابطه با تولید محصولات حاوی نیتريت و نیتريت طبیعی، هدف از این پژوهش امکان حذف نیتريت در فرمولاسیون سوسیس‌های بسته‌بندی تحت خلاء با استفاده از پودر کاهو و رازیانه است.

مواد و روش‌ها

کاهو از مزرعه پژوهشکده دانشکده کشاورزی کرج، دانه‌های رازیانه از پژوهشکده گیاهان دارویی همدان، نشاسته ذرت (گلکز، ایران)، روغن مایع آفتاب‌گردان (نازگل، ایران)، شیر خشک (مانا، ایران)،

جدول ۱- فرمولاسیون تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر

تیمار	گوشت	روغن	آب و یخ	نیتريت سدیم	ترکیب پودر کاهو و رازیانه
Control	۵۵٪	۱۱٪	۱۸٪	۱۲۰ ppm	۰ ppm
T ₁	۵۵٪	۱۱٪	۱۸٪	۹۰ ppm	۳۰ ppm
T ₂	۵۵٪	۱۱٪	۱۸٪	۶۰ ppm	۶۰ ppm
T ₃	۵۵٪	۱۱٪	۱۸٪	۳۰ ppm	۹۰ ppm
T ₄	۵۵٪	۱۱٪	۱۸٪	۰ ppm	۱۲۰ ppm

اندازه‌گیری میزان خاکستر

مقدار ۲ g از نمونه همگن توزین و درون کوره الکتریکی (SAT، ایران) با دمای ۵۵۰ °C تا ظهور خاکستر سفید رنگ قرار داده شد. میزان خاکستر از فرمول زیر محاسبه و گزارش شد (استاندارد ملی ایران شماره ۷۴۴، ۱۳۸۱).

اندازه‌گیری pH

ابتدا نمونه‌ها با نسبت ۹ به ۱ با آب مقطر مخلوط و سپس pH نمونه‌ها با pH متر (Martini، ایتالیا) اندازه‌گیری و ثبت شد (استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۸، ۱۳۸۶).

اندازه‌گیری میزان تیوباریتوریک اسید

آماده‌سازی نمونه مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۲۶ (۱۳۷۳) انجام شد. ۵۰ mg از روغن استخراج شده نمونه داخل بالن حجمی ۲۵ ml وزن و سپس درون محلول ۱- بوناتل حل و با همین محلول به حجم رسید. ۵ ml از محلول نمونه به یک لوله آزمایش خشک منتقل شد و سپس ۵ ml محلول واکنشگر تیوباریتوریک اسید به آن افزوده شد. درب لوله آزمایش بسته و محتویات آن کاملاً با یکدیگر مخلوط شدند. لوله آزمایش درون حمام آب (شیماز، ایران) 95°C به مدت ۱۲۰ دقیقه قرار داده شد. سپس با قرار دادن لوله زیر شیرآب تا رسیدن به دمای محیط خنک شد. میزان جذب نمونه در اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۳۰ nm قرائت شد و میزان تیوباریتوریک اسید بر اساس فرمول زیر محاسبه و گزارش شد (استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۴۹۴، ۱۳۸۶).

$$\text{TBA} = \frac{50 \times (A-B)}{m} \times 100 \quad (4)$$

که در آن: A = میزان جذب محلول آزمایش، B = میزان جذب محلول آزمایش، m = جرم نمونه بر حسب گرم.

اندازه‌گیری میزان پراکسید

۳ mg از نمونه آماده‌سازی شده مطابق استاندارد ۳۲۲۶ (۱۳۷۳) درون ارلن مایر توزین و پس از بستن درب آن به‌منظور آب شدن چربی در حمام آب 60°C به مدت ۳ min حرارت داده شد. سپس ۳۰ ml محلول استیک اسید- کلروفرم به آن افزوده و ۳ min تکان داده شد تا چربی به‌طور کامل در آن حل شود. نمونه تحت شرایط خلاء، با کاغذ صافی واتمن، صاف و تصفیه شد. در نهایت ۵/۵ ml یدید پتاسیم اشباع به محلول صاف شده افزوده و با محلول تیوسولفات سدیم ۰/۱ N تیترو شد. عدد پراکسید برحسب میلی‌اکی والان گرم اکسیژن فعال در هر کیلوگرم با استفاده از فرمول ذیل محاسبه و گزارش شد (استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۹۷، ۱۳۹۳).

$$\text{PV} = \frac{(V-V_0) \times c \times (Na_2S_2O_3) \times f}{m} \quad (5)$$

که در آن: $c \times (Na_2S_2O_3)$ = غلظت محلول تیوسولفات پتاسیم بر حسب مول بر لیتر، f = ضریب محلول تیوسولفات پتاسیم ۰/۱ نرمال، V = حجم محلول تیو سولفات پتاسیم ۰/۱ نرمال برای نمونه، V_0 = حجم محلول تیو سولفات پتاسیم ۰/۱ نرمال برای شاهد.

اندازه‌گیری رنگ

شدت رنگ تیمارها با دستگاه هانتز لپ (M.A.H.3000، آمریکا) اندازه‌گیری شد. دستگاه توسط یک صفحه سفید کالیبره شد ($L^* = 90.26$ ، $a^* = -1.29$ ، $b^* = 5.18$). مقادیر بیان شده به صورت L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی) و b^* (زردی) از پنج ناحیه برش مختلف

$$(1) \quad \text{درصد خاکستر} = \frac{m_0 - m_2}{m_0 - m_1} \times 100$$

که در آن: m_0 = وزن بوته خالی بر حسب گرم، m_1 = وزن بوته حاوی نمونه بر حسب گرم، m_2 = وزن بوته حاوی خاکستر بر حسب گرم.

اندازه‌گیری میزان رطوبت

ابتدا ۵ g از نمونه همگن توزین و درون پلیت شیشه‌ای که قبلاً در آون با دمای 130°C به وزن ثابت رسیده و خنک شده، ریخته شد سپس ۵ ml میلی‌لیتر الکل اتیلیک به ظرف اضافه و به‌طور کامل اختلاط انجام شد. سپس پلیت روی بن ماری (شیماز، SHWBT 4، ایران) با دمای $60-80^{\circ}\text{C}$ تا تبخیر کامل الکل قرار داده شد. در نهایت پلیت مجدداً درون آون با دمای 130°C به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. میزان رطوبت از فرمول زیر محاسبه و گزارش شد (استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۲، ۷۴۵).

$$(2) \quad \text{درصد رطوبت} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

که در آن: m_0 = وزن پلیت خالی بر حسب گرم، m_1 = وزن پلیت حاوی نمونه قبل از خشک کردن بر حسب گرم، m_2 = وزن پلیت حاوی نمونه بعد از خشک کردن بر حسب گرم.

اندازه‌گیری میزان نیتريت باقی‌مانده

۱۰ گرم از نمونه همگن به ارلن مایر منتقل شد؛ ۵ ml محلول بوراکس اشباع و ۱۰۰ ml آب مقطر با دمای حداقل 70°C به آن افزوده شد. پس از رسیدن دمای محلول به دمای اتاق، ۲ ml محلول فروسیانور پتاسیم و ۲ ml محلول استات روی به آن افزوده و به‌خوبی مخلوط شدند. محلول به‌دست آمده درون بالن ژوژه ۲۰۰ ml با آب مقطر رقیق شد. پس از ۳۰ min محلول روئی با کاغذ صافی چین‌دار صاف شد. سپس ۶۰ ml محلول صاف شده با ۱۰ ml سولفانیل آمید و سپس ۶ ml کلریک اسید غلیظ کاملاً مخلوط و به مدت ۳-۱۰ min در دمای اتاق در محیط تاریک نگهداری شد. نهایتاً محلول تا ۱۰۰ ml با آب مقطر رقیق شد. جذب محلول در اسپکتوفتومتر (Unicorn، 2100، آمریکا) در طول موج ۵۳۸ nm قرائت شد. مقدار نیتريت بر حسب میلی-گرم نیتريت سدیم در کیلوگرم از فرمول زیر محاسبه و گزارش شد (استاندارد ملی ایران شماره ۹۲۳، ۱۳۷۵).

$$(3) \quad \text{NaNO}_2 = C \times \frac{2000}{m.v}$$

که در آن: m = مقدار نمونه حسب گرم، v = حجم محلول صاف شده بر حسب میلی‌لیتر، C = غلظت نیتريت سدیم بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر

شده با استفاده از نرم افزار آماری SPSS ۲۱ بررسی شدند، همچنین در صورت معنی دار بودن اثرات مورد بررسی در جدول تجزیه واریانس، با سطح احتمال خطا ۰/۰۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

با توسعه زندگی مدرن، مصرف فرآورده های گوشتی مانند سوسیس و کالباس در بین مردم رواج یافته است. این فرآورده ها علاوه بر گوشت، به عنوان منبع تغذیه ای مهم انسانی، حاوی چربی، اسیدهای چرب اشباع، نمک های کلرید و سدیم نیتريت هستند. نیتريت به طور خاص نیتريت ویژگی های متمایزی را در سالم سازی گوشت از جمله ایجاد رنگ صورتی که نشان دهنده کیفیت محصول گوشتی پخته شده و مورد نظر مصرف کننده است، مهار اکسیداسیون چربی، ایجاد طعم مطلوب و از همه مهمتر خاصیت ضد میکروبی مخصوصاً علیه باکتری کلوستریدیوم بوتولینیوم ایفاء می کنند (Riyad et al., 2018). علیرغم تمام خواص مورد نظر، به دلیل واکنش نیتريت با آمین های ثانویه و اسیدهای آمینه در پروتئین های عضلانی و احتمال تشکیل نیتروز آمین های سرطان زا، استفاده از آن از لحاظ ایمنی مورد تردید قرار گرفته است. در این تحقیق از ترکیب پودر کاهو و رازیانه به عنوان جایگزین طبیعی نیتريت در فرمولاسیون سوسیس و بررسی ویژگی های تیمارها صورت گرفت. جدول ۲ ارزیابی ویژگی شیمیایی پودر کاهو و رازیانه قبل از اضافه کردن به فرمولاسیون سوسیس ها را نشان می دهد.

سوسیس به دست آمد. اختلاف رنگ کلی (ΔE) بین روزهای صفر و ۳۰ برای هریک از نمونه ها از فرمول زیر محاسبه و گزارش شد (Rojsumtornkitti et al., 2010).

$$\Delta E = \sqrt{(L30 - L0)^2 + (a30 - a0)^2 + (b30 - b0)^2} \quad (6)$$

آزمون های میکروبی

این آزمون ها شامل بار میکروبی کل مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۵۲۷۲ (۱۳۷۱)، شمارش کپک و مخمر مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۸۹۹ (۱۳۸۷)، آزمون کلی فرم مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱۶۶ (۱۳۸۷) و آزمون کلوستریدیوم پرفرنجس مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۹۷ (۱۳۸۵) انجام شد.

آزمون ارزیابی حسی

ابتدا نمونه ها در روغن 100°C به مدت ۴ min سرخ شدند و سپس به قطعات یکسان (۳ cm) بریده و توسط ۱۰ نفر ارزیاب از طریق آزمون ترجیحی (تست هدونیک ۵ نقطه ای) از لحاظ طعم، رنگ، بافت، مزه و قابلیت پذیرش در روزهای ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تولید با یکدیگر مقایسه شدند (Cierach et al., 2009).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

تعداد کل تیمارها در این تحقیق ۵ عدد در نظر گرفته شد. نتایج سه تکرار حاصل از آزمون های شیمیایی روی نمونه های مختلف تولید

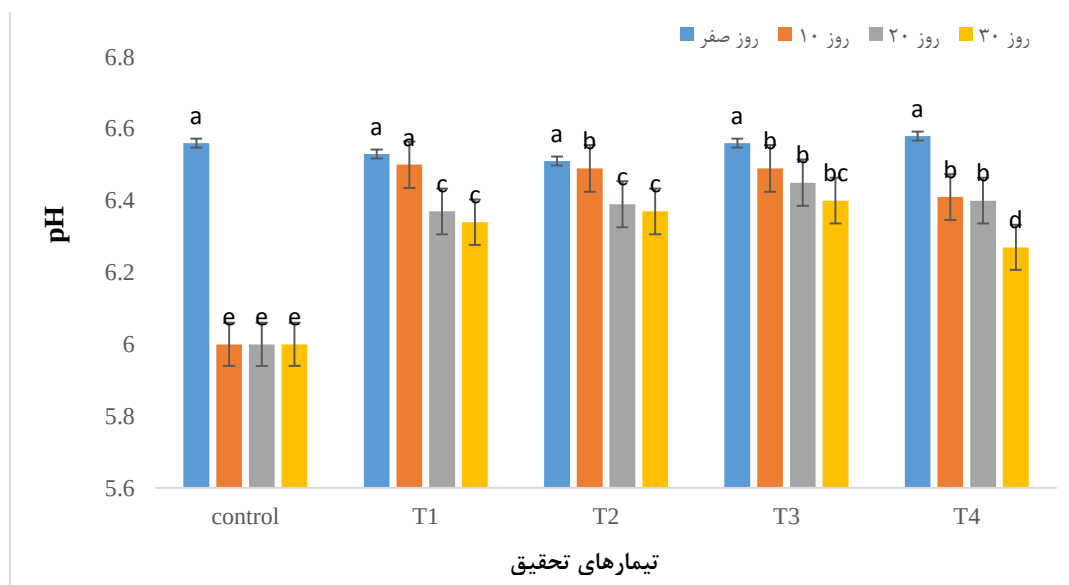
جدول ۲- نتایج ترکیبات تقریبی و pH پودر کاهو و رازیانه

ماده	رطوبت (درصد)	pH	خاکستر (درصد)	نیتريت (ppm)	نیتريت (ppm)
پودر کاهو	۱۱/۶۶	۵/۷۹	۴/۳	۳۷۸۷	۶/۹۹
پودر رازیانه	۱۱/۳۳	۵/۹۸	۳/۵۹	۱۸۸۰	۷/۵۴

باشد (Riyad et al., 2018). نتایج Sindelar و همکاران (۲۰۰۷) نشان داده است که مقدار pH وابسته به نیتريت شکل گرفته در پودر عصاره است و این روند کاهشی pH در اثر تولید لاکتیک اسید از متابولیسم باکتری ها از رشد کلی فرم ها جلوگیری کرده و افزایش ماندگاری محصول را به دنبال دارد در این راستا، Sindelar و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که pH گوشت بعد از افزودن پودر گیاه کاهش یافت. Sucu و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند افزودنی های بر پایه سبزیجات از جمله پودر کرفس، تره فرنگی منجر به کاهش pH محصولات گوشتی شد.

بررسی روند تغییرات pH در تیمارها

pH ماده غذایی در ارتباط با واکنش های شیمیایی و میکروبی درون آن است که کاهش کیفیت ماده غذایی را به دنبال دارند. تأثیر معنادار ($p < 0.05$) پودر کاهو و رازیانه بر pH تیمارها در شکل ۱ مشهود است. pH نمونه شاهد نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود؛ به طور کلی، کاهش pH طی ۳۰ روز نگهداری در تمامی تیمارها مشاهده شد. افزودن ترکیبات با pH پایین، کاهش pH را به دنبال دارد اما به دلیل خاصیت بافری گوشت، به علت حضور ترکیبات پروتئینی مختلف، تغییرات pH زیاد نیست. بنابراین، کاهش pH می تواند در ارتباط با بقاء و رشد آهسته باکتری های تولیدکننده لاکتیک اسید در طول و بعد از تولید محصول

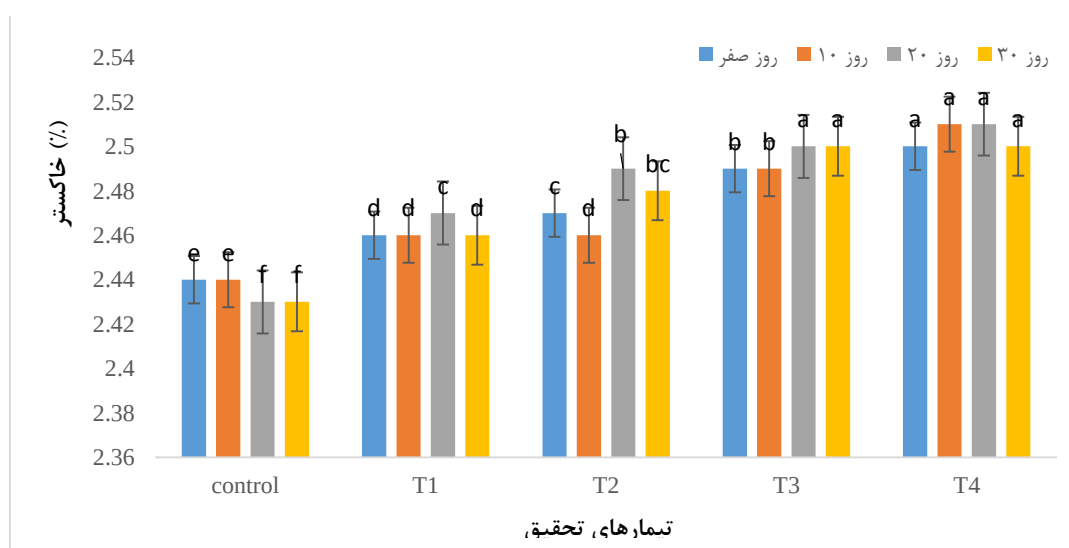


شکل ۱- بررسی روند تغییرات pH نمونه‌های سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه

افزایش خاکستر تیمارها را به دنبال داشت. خاکستر موجود در فرآورده-های گوشتی بازگو کننده نوع مواد به کار رفته در فرآیند تولید این محصولات است بالاتر بودن میزان خاکستر در فرآورده نشان‌دهنده افزایش بیش از حد مجاز پرکننده‌های گیاهی در فرمولاسیون است. به دلیل منشاء گیاهی این افزودنی‌ها و محتوی بالای مواد معدنی در گروه سبزیجات، مقدار خاکستر افزایش نشان داد (Nielsen et al., 2010). Jin و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند افزودن پودر جعفر به عنوان جایگزین نیترات در سوسیس گوشت خوک افزایش خاکستر این فرآورده را نسبت به نمونه شاهد داشت.

بررسی روند تغییرات خاکستر در تیمارها

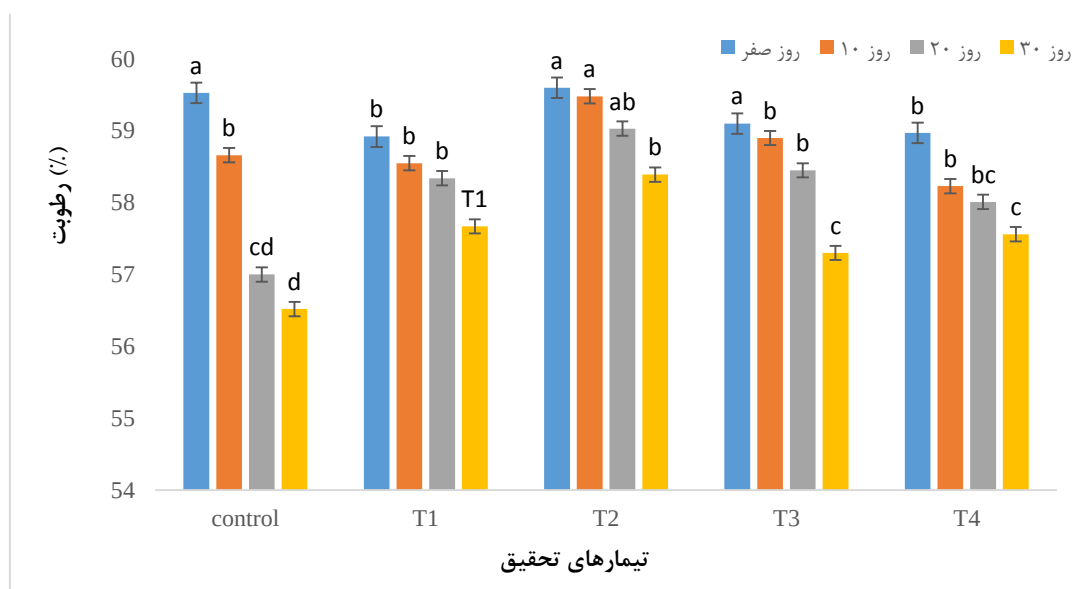
خاکستر محصولات گوشتی به عنوان ماده غیرمعدنی باقی‌مانده بعد از سوختن نمونه در حضور هوا و فشار اتمسفر تعریف می‌گردد. این ترکیب از مواد معدنی نمونه به شکل اکسید، سولفات، سیلیکات و کلرید تشکیل شده است که نسبت آن به ترکیب اولیه نمونه و شرایط اشباع بستگی دارد (Kayisoglu et al., 2003). مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۰۳ بیشینه میزان خاکستر سوسیس (محتوی بالاتر ۵۰ درصد گوشت) برابر ۲/۵ درصد است. شکل ۲ میزان تغییرات خاکستر در نمونه شاهد و تیمارها را نشان می‌دهد؛ مطابق نتایج میزان خاکستر تمامی تیمارها در محدوده استاندارد قرار داشتند و افزودن پودر کاهو و رازیانه



شکل ۲- بررسی روند تغییرات خاکستر نمونه‌های سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه

بررسی روند تغییرات رطوبت در تیمارها

شکل ۳ روند تغییرات رطوبت تیمارها را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است اختلاف معناداری ($p < 0.05$) در رطوبت نمونه‌های تیمار شده با پودر کاهو و رازیانه مشاهده شد. بالا بودن میزان رطوبت یک فرآورده گوشتی بیانگر این واقعیت است که تا حدودی آب جایگزین عناصر مغذی اساسی در این فرآورده‌ها شده است بیشترین میزان رطوبت مربوط به تیمار T_2 (۶۰ ppm پودر کاهو و رازیانه) با میانگین ۵۹/۱۲٪ و کمترین میزان رطوبت مربوط به تیمار شاهد (۵۶/۵۲٪) در روز ۳۰ بود. از آنجا که آب در هنگام خشک شدن با توجه به شرایط رطوبت نسبی تبخیر می‌شود، کاهش رطوبت (از دست دادن وزن) سوسیس‌ها مطابق انتظار بود؛ رطوبت کمتر در محصولات با فرمولاسیون عصاره را می‌توان با محتوی بالای فیبر در عصاره توضیح



شکل ۳- بررسی روند تغییرات رطوبت نمونه‌های سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه

بررسی روند میزان نیتريت باقی‌مانده در تیمارها

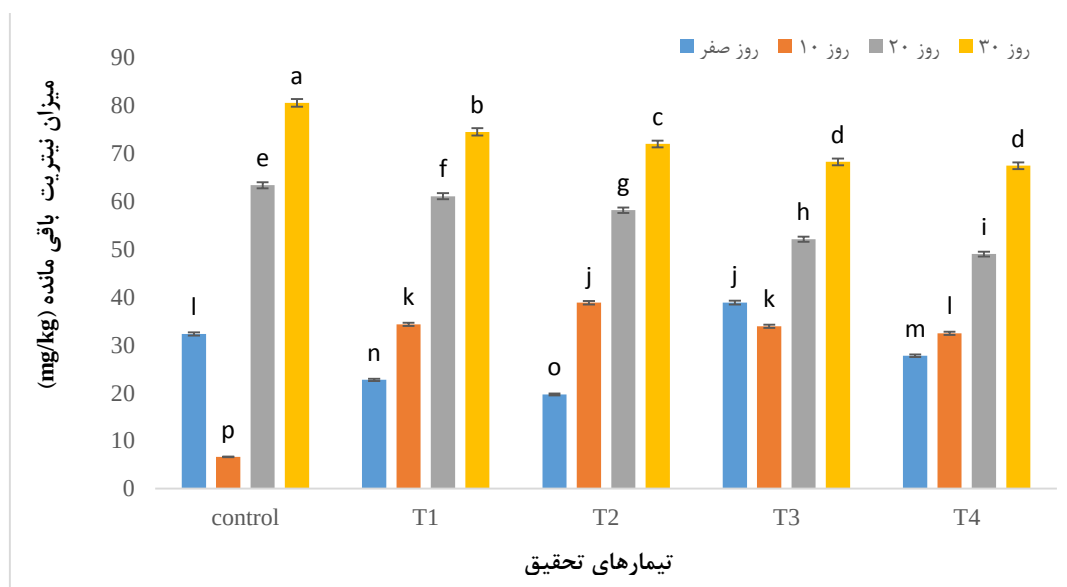
افزودنی‌های نیترات و نیتريت سدیم از دیرباز در صنایع غذایی به‌عنوان تثبیت رنگ قرمز گوشت و جلوگیری از فعالیت میکروارگانیسم‌های عامل فساد و نیز ایجاد طعم مطلوب استفاده می‌شوند. از آنجائیکه کاربرد اصلی این مواد جلوگیری از رشد *کلستریدیوم بوتولینیوم* است، میزان غلظت نیتريت باقی‌مانده در محصولات عمل‌آوری شده حائز اهمیت است، زیرا زمان ماندگاری محصول تا حد زیادی به این ماده نگهدارنده بستگی دارد (Dineen et al., 2000; Borchert et al., 1998). میزان نیتريت باقی‌مانده خصوصیات مثل رنگ و خواص حسی و عطر و طعم محصول را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (سیفی نوفرستی و همکاران، ۱۳۹۶). در ایران حد مجاز نیتريت و نیترات در فرآورده‌های گوشتی به ترتیب ۱۲۰ و ۵۰۰ ppm تعیین شده است

داد که با تسهیل از دست دادن رطوبت کاهش وزن بیشتر و فعالیت آبی کمتر در این تیمارها قابل توجیه است (Ozaki et al., 2020)، از طرفی افزودن ترکیب پودر کاهو افزایش جزئی رطوبت محصول را به دلیل مخلوط شدن با آب برای وارد کردن به فرمولاسیون تیمارها را نشان داد؛ زیرا افزایش فیبر (پودر کاهو) افزوده شده به تیمارها، میزان آب افزوده شده به فرمولاسیون افزایش یافت. در این رابطه خالقی و حسینی (۱۳۹۶) نیز کاهش میزان رطوبت در سوسیس‌های تیمار شده با تفاله پودر گوجه فرنگی را نسبت به نمونه شاهد نشان دادند. Ozaki و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند افزودن پودر عصاره تربچه و چغندر به‌عنوان جایگزین نیتريت، کاهش محتوی رطوبتی را در سوسیس‌های تخمیری به دنبال داشت.

(استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۰۳، ۱۳۸۴). شکل ۴ میزان نیتريت باقی‌مانده در تیمارها را طی ۳۰ روز نگهداری نشان می‌دهد. بالاترین میزان نیتريت مربوط به نمونه شاهد بود ($p < 0.05$) و اعمال سطوح ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ppm پودر کاهو و رازیانه به ترتیب کاهش ۱۷، ۱۸، ۱۶ و ۲۴٪ را نشان داد. در تیمار T_4 (۱۲۰ ppm پودر کاهو و رازیانه) مقدار نیتريت به‌طور کامل با ترکیب پودر کاهو و رازیانه جایگزین شده است و حاوی کمترین میزان نیتريت بود ($p < 0.05$). برخی از محققین، محتوی میزان نیتترات باقی‌مانده در محصولات فرآوری شده مثل پختن، گرم کردن، دودی کردن و بسته‌بندی شده را وابسته به دو فاکتور دما و زمان نگهداری معرفی کردند (Ahn et al., 2002; Jantawat et al., 1993). میزان محتوی نیتريت در حین تولید به مقدار نیتريت ورودی بستگی دارد با این حال، مقدار نیتريت در هنگام استفاده از

در سویس گوشت خوک را به دلیل محتوی نیتريت خود چغندر قند را در طول دوره نگهداری نشان دادند. Doolaee و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که افزودن عصاره رزماری کاهش نیتريت باقی مانده در پاته جگر را به همراه داشت و افزایش درصد عصاره کاهش بیشتر نیتريت را به همراه داشت. Tahmouzi و همکاران (۲۰۱۲) نیز کاهش نیتريت را با افزایش میزان چغندر در سوسیس را گزارش دادند.

عصاره گیاهی در فرمولاسیون مشخص نیست و نرخ تبدیل نیتريت به نیتريت طی تخمیر در محتوی نیتريت عصاره گیاهی موثر است (Riad *et al.*, 2018; Hwang *et al.*, 2018). به طور کلی مقدار نیتريت پس از تولید و طی زمان نگهداری افزایش پیدا می کند، که نشان دهنده نیتريت در پودر کاهو و رازیانه است (Sebranek and Bacus, 2007). Jin و همکاران (۲۰۱۴)، افزودن پودر چغندر افزایش نیتريت باقی مانده



شکل ۴- بررسی میزان نیتريت باقی مانده نمونه های سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه

را در طی افزودن عصاره پودر ریحان شیرین به سوسیس خوک طی ۲۱ روز نگهداری در دمای یخچالی نسبت به نمونه شاهد را نشان دادند.

بررسی روند تغییرات تیوباریتوریک اسید در تیمارها

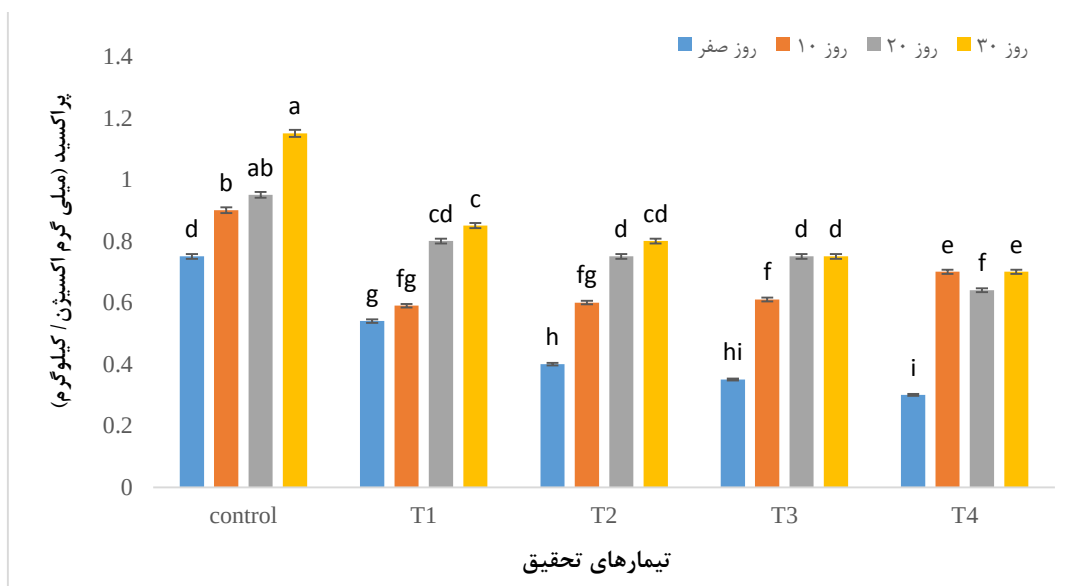
شاخص تیوباریتوریک اسید میزان محصولات ثانویه اکسیداسیون به ویژه آلدئیدها را نشان می دهد. نتایج معنادار اثر متقابل پودر کاهو و رازیانه و زمان نگهداری را بر تغییرات TBA طی ۳۰ روز نگهداری در شکل ۶ نشان داده شده است ($p < 0.05$). کاهش ۳۳، ۳۶، ۴۸ و ۶۲٪ میزان تیوباریتوریک به ترتیب با اعمال ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ppm پودر کاهو و رازیانه مشاهده شد. این کاهش در بعضی از روزهای نگهداری ممکن است به دلیل کاهش هیدروپراکسیدها و واکنش بین مالون آلدئید با پروتئین ها، اسیدهای آمینه و گلیکوزن باشد که باعث کاهش مقادیر مالون آلدئید می شود (Gomes *et al.*, 2003). در روز ۲۰ میزان TBA در تمامی تیمارها افزایش و سپس کاهش یافت که علت آن تجزیه و پلیمراسیون مالون آلدئید می باشد (Vossen *et al.*, 2012). مطابق تحقیقات Jebeli Javan و همکاران (۲۰۱۴) حداکثر میزان قابل قبول تیوباریتوریک اسید در فرآورده های گوشتی $200 \text{ mg Malone Aldehyde / Kg}$ معرفی شده است. نتایج نشان

بررسی روند تغییرات پراکسید در تیمارها

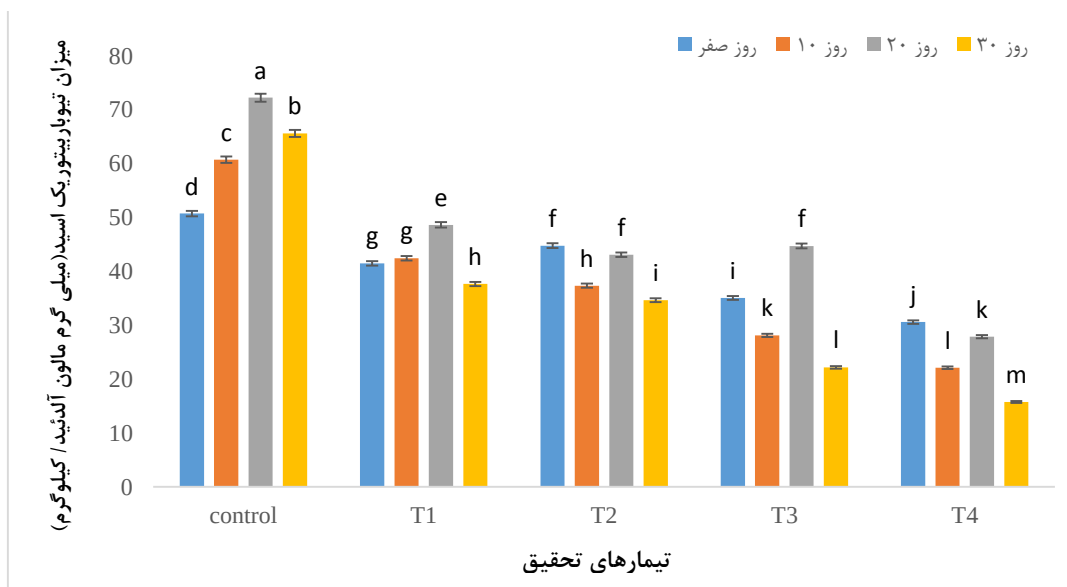
پراکسید یا اکسیژن فعال محصول اولیه اکسیداسیون و محصولاتی ناپایدار بوده که در اثر تجزیه شدن به ترکیبات مختلف بوی نامطلوب و حالت بیاتی در محصولات را به وجود می آورند (Teye *et al.*, 2011). مقایسه میانگین پراکسید تیمارها در شکل ۵ نشان داده شده است. افزایش پودر کاهو و رازیانه، کاهش بیشتر عدد پراکسید را نشان داد ($p < 0.05$). با حذف کامل نیتريت از روند کاهشی عدد پراکسید اندکی کاسته شد که احتمالاً به دلیل محتوی آنتی اکسیدان های طبیعی در درصد بالای پودر کاهو است با توجه به عدد پراکسید $25 \text{ meq O}_2/\text{kg}$ قابل قبول در برای مواد غذایی مانند سوسیس (Sallam *et al.*, 2004). نتایج نشان داد تمام نمونه های مورد آزمایش تا پایان روز ۳۰ از عدد پراکسید مورد قبول پایین تر بودند. پایین تر از حد بودن عدد پراکسید تمام نمونه ها تا پایان زمان نگهداری به علت طولانی شدن دوره اکسیداسیون و کاهش تشکیل هیدروپراکسیدها و حضور آنتی اکسیدان ها - هاست (Gotoh and Wada, 2006). Roby و همکاران (۲۰۱۳)، طی بررسی فعالیت های آنتی اکسیدانی گیاه رازیانه و بابونه شاهد کاهش مقدار اندیس پراکسید بودند که با محتوی فنلی بالای این دو گیاه ارتباط داشت. Sriket و همکاران (۲۰۲۰) نیز کاهش تشکیل هیدروپراکسیدها

زماری و کیتوزان بالاترین خاصیت آنتی اکسیدانی را نشان داد به طوریکه بیشترین میزان مالون آلدئید در سوسیس گوشت خوک نگهداری شده در یخچال طی ۱۵ روز مشاهده شد و بعد از آن (طی ۲۰ روز نگهداری) کاهش نشان داد.

داد در هیچکدام از گروه‌های آزمایش نگهداری شده، عدد تیوباریتوریک اسید، بیشتر از حد مجاز گفته شده توسط محققین فوق نبود. در پژوهش Khaleghi و همکاران (۲۰۱۶)، طی جایگزینی نیتريت در سوسیس با زرشک سیاه کاهش TBA از روز ۹ تا ۲۳ مشاهده شد. Georgantelis و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که افزودن پودر ترکیبی عصاره



شکل ۵- بررسی تغییرات عدد پراکسید نمونه‌های سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه



شکل ۵- بررسی میزان تیوباریتوریک اسید مانده نمونه‌های سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه

محصولات داشته است. میزان رشد باکتری‌ها در تیمارهای حاوی پودر کاهو و رازیانه و نیتريت کمتر بود که احتمالاً به دلیل پایین‌تر این تیمارها در مقایسه با سایر تیمارهاست. به‌طور کلی روند افزایشی در

آزمون میکروبی در تیمارها

جدول ۳ نتایج شاخص‌های میکروبی در تیمارها را نشان می‌دهد. در تمامی نمونه‌ها زمان نگهداری اثر معنی‌داری بر بار میکروبی

معنی داری بر رشد باکتری‌ها نشان داده است (استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۰۳، ۱۳۸۴).

میزان بار میکروبی در تمامی تیمارها طی ۳۰ روز نگهداری مشاهده شد. بیشینه حد مجاز شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در یک گرم سوسیس 10^5 cfu/g است که در تمامی تیمارها زمان نگهداری اثر

جدول ۳- نتایج آزمون میکروبی در سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه طی ۳۰ روز نگهداری

تیمار	روز	بار میکروبی کل	کپک و مخمر	کلستریدیوم	کلی فرم
Control	صفر	10×10^{2k}	<10	Neg	Neg
	۱۰	15×10^{2j}	<10	Neg	Neg
	۲۰	$21/66 \times 10^{2h}$	<10	Neg	Neg
	۳۰	$20/33 \times 10^{2h}$	<10	Neg	Neg
T ₁	صفر	$10/66 \times 10^{2k}$	<10	Neg	Neg
	۱۰	$19/65 \times 10^{2i}$	<10	Neg	Neg
	۲۰	$21/66 \times 10^{2h}$	<10	Neg	Neg
	۳۰	$21/67 \times 10^{2h}$	<10	Neg	Neg
T ₂	صفر	$15/33 \times 10^{2j}$	<10	Neg	Neg
	۱۰	27×10^{2f}	<10	Neg	Neg
	۲۰	$32/66 \times 10^{2e}$	<10	Neg	Neg
	۳۰	40×10^{2de}	<10	Neg	Neg
T ₃	صفر	20×10^{2h}	<10	Neg	Neg
	۱۰	$30/33 \times 10^{2e}$	<10	Neg	Neg
	۲۰	52×10^{2d}	<10	Neg	Neg
	۳۰	$65/66 \times 10^{2c}$	<10	Neg	Neg
T ₄	صفر	$24/83 \times 10^{2g}$	<10	Neg	Neg
	۱۰	$33/33 \times 10^{2e}$	<10	Neg	Neg
	۲۰	70×10^{2b}	<10	Neg	Neg
	۳۰	$81/66 \times 10^{2a}$	<10	Neg	Neg

است که عدم رشد باکتری‌های مذکور احتمالاً مربوط به فرآیند مناسب حرارتی و اثر بازدارندگی نیترات موجود در پودر کاهو و رازیانه می‌باشد. Tahmouzi و همکاران (۲۰۱۲) نیز عدم رشد کلستریدیوم پرفرینجنس در سوسیس فرانکفورتر طی مدت زمان نگهداری در دمای 4°C را گزارش داد. خدائی و همکاران (۱۳۹۶) طی بررسی جایگزینی نیترات با اسانس رزماری و پودر چغندر قند در فرمولاسیون سوسیس رشد کپک و مخمر را فقط در روزهای ۲۸ و ۳۵ در نمونه‌های شاهد را گزارش کردند. کلی‌فرم‌ها شاخص ارزیابی وضعیت بهداشتی و آلودگی مواد غذایی می‌باشند. نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن بود که در تمام سطوح استفاده شده پودر کاهو و رازیانه در طول ۳۰ روز نگهداری، هیچگونه رشد کلیفرم مشاهده نشد. مطابق استاندارد ۲۳۰۳ (۱۳۸۴) حداقل دُز مجاز کلی‌فرم در سوسیس برابر $1 \log \text{cfu/g}$ است که تمامی تیمارهای تحقیق در محدوده استاندارد مذکور بودند. خدائی و همکاران (۱۳۹۶)

همانطور که از مطالعات پیشین مشخص است، غلظت نیتريت باقی مانده بر رشد باکتری‌ها موثر است همانطور که مشخص است در نمونه شاهد که میزان نیتريت ۱۲۰ ppm است، بیشترین مقاومت به رشد باکتری‌ها مشاهده شد. مولانژاد و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی کیتوزان به عنوان جایگزین طبیعی نیتريت سدیم روند افزایشی شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها را طی ۶۰ روز نگهداری محصول نشان دادند. سیفی نوفرستی و همکاران (۱۳۹۶) افزایش بار میکروبی سوسیس‌های تیمار شده با اسکورییک اسید به عنوان جایگزین طبیعی نیتريت را در روز ۲۱ نگهداری نشان دادند. با توجه به نتایج به دست آمده در طی ۳۰ روز کلستریدیوم پرفرینجنس، کپک و مخمر رشد نکرد، حتی با حذف کامل نیتريت در تیمار T₄ نیز کلستریدیوم رشد نکرد. مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۰۳ (۱۳۸۴) حدود قابل قبول کلستریدیوم پرفرینجنس، کپک و مخمر در یک گرم سوسیس به ترتیب بیشینه ۵۰ و ۱۰۰ کلنی

طی بررسی جایگزینی نیترات با اسانس رزماری و پودر چغندر قند در فرمولاسیون سوسیس رشد کپک و مخمر را فقط در روز ۳۵ نمونه‌های شاهد را گزارش کردند.

رنگ در تیمارها

رنگ مهمترین پارامتری است که نشانگر کیفیت ماده غذایی است و یک محصول غذایی ممکن است به دلیل رنگ نامطلوبش مورد پذیرش مصرف کننده واقع نگردد. به‌طور کلی عمل‌آوری گوشت به همراه ترکیباتی بر پایه نمک، شکر و سایر شیرین‌کننده‌ها و نیتريت برای به‌دست آوردن طعم و بافت ویژه می‌باشد. نیترات بر اثر باکتری‌های آغازگر موجود در گوشت یا همراه خود نیترات، به نیتريت تبدیل

شده و نیتريت نیز در اثر حرارت به اکسيد نیتريت که عامل رنگ مطلوب گوشت است تبدیل می‌گردد (Shahidi, 1998). مقایسه آنالیز متقابل تیمار در زمان میانگین آزمون رنگ‌سنجی بین تیمارها در جدول ۴ و اختلاف رنگ آن‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از سنجش میزان رنگ با میزان نیتريت باقی‌مانده و اندیس قرمزی (a^*) مطابق است. تیمار T₄ (۱۲۰ ppm پودر کاهو و رازیانه) با کمترین مقدار نیتريت باقی مانده دارای کمترین مقدار اندیس قرمزی بود؛ همچنین تیمار T₁ (۳۰ ppm پودر کاهو و رازیانه) و T₂ (۶۰ ppm پودر کاهو و رازیانه) نسبت به نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند. میزان نیتريت باقی مانده بر ثبات رنگ موثر بود. (سیفی نوفرستی و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول ۴- نتایج آزمون رنگ در سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه طی ۳۰ روز نگهداری

پارامتر	تیمار	روز صفر	روز ۱۰	روز ۲۰	روز ۳۰
*	Control	۹/۳۷± ۱/۶ ^h	۸/۵۷۳± ۱/۶۹ ^g	۱۰/۹۹± ۰/۱۸ ^{ij}	۹/۵۷۳± ۱/۱۰۷ ^h
	T ₁	۱۱/۴± ۰/۷۱ ^j	۹/۲۹± ۱/۶۷ ^h	۱۰/۱۲± ۰/۴۷ ⁱ	۹/۶۴± ۳/۶ ^h
	T ₂	۱۲/۶۸± ۰/۶۳ ^k	۸/۴۴۶± ۲/۲۹ ^g	۱۰/۶۲± ۰/۰۷ ⁱ	۱۱/۴۴± ۰/۳۶ ^j
	T ₃	۱۱/۰۲± ۰/۸۹ ^j	۱۲/۳۴± ۰/۶۸ ^k	۱۲/۹۳± ۰/۰۲۸ ^l	۹/۰۱۶± ۰/۱۳۵ ^h
	T ₄	۱۰/۰۸± ۰/۶۴ ⁱ	۱۲/۳۴± ۰/۱۳۳ ^k	۸/۶۷۳± ۱/۳۶ ^g	۸/۳۲۶± ۰/۲۷ ^g
b	Control	۳۵/۴۲± ۷/۸ ^{cd}	۴۰/۵۴± ۵/۸ ^c	۴۲/۴۳± ۰/۴۸ ^c	۳۳/۶۵± ۴/۲۸ ^d
	T ₁	۳۶/۷۴± ۲/۷۴ ^c	۳۴/۹۳± ۶/۰۶ ^{cd}	۴۰/۹۶± ۰/۲۳ ^c	۳۷/۳۳± ۱/۳۳ ^c
	T ₂	۳۴/۵۸± ۱/۵ ^{1cd}	۳۰/۳۷± ۷/۹۵ ^e	۳۵± ۰/۲۷ ^{cd}	۲۹/۷۵± ۱/۱۷ ^e
	T ₃	۳۳/۹۶± ۳/۳۹ ^d	۲۹/۰۵± ۲/۸۴ ^e	۳۳/۷۳± ۱/۰۸ ^d	۳۶/۶۰± ۰/۲۷ ^c
	T ₄	۲۹/۰۶± ۸/۳ ^e	۲۸/۲۱± ۵/۱۶ ^e	۲۵/۷۷± ۳/۶۰ ^f	۲۲/۴۴± ۰/۸۳ ^g
c	Control	۹۶/۸۷۶± ۳/۰۷ ^b	۹۸/۸۲۳± ۰/۲۳ ^a	۹۸/۴۸۳± ۰/۰۴ ^a	۹۸/۶۶± ۰/۱۵ ^a
	T ₁	۹۸/۴۴۳± ۰/۰۹ ^a	۹۸/۷۲۶± ۰/۲۳ ^a	۹۸/۱۰۳± ۰/۲۶ ^a	۹۸/۹۱۶± ۰/۸۹ ^a
	T ₂	۹۸/۱۹۳± ۰/۱۸ ^a	۹۸/۸۴± ۰/۳۱ ^a	۹۸/۵۴۳± ۰/۰۵ ^a	۹۸/۴۳۳± ۰/۰۴ ^a
	T ₃	۹۸/۴۹۶± ۰/۱۲ ^a	۹۸/۳۲۳± ۰/۰۹ ^a	۹۸/۲۶± ۰/۰۳ ^a	۹۸/۷۶۳± ۰/۰۱۵ ^a
	T ₄	۹۸/۸۰۳± ۰/۳۰ ^a	۹۸/۳۲± ۰/۰۱۷ ^a	۹۸/۷۶۶± ۰/۱۵ ^a	۹۹/۴± ۰/۰۳۴ ^a

جدول ۵- نتایج آزمون اختلاف رنگ در سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه طی ۳۰ روز نگهداری

تیمار	ΔE(0-30)
Control	۵/۵۱۵
T ₁	۱/۹۱۴
T ₂	۵/۵۰۶
T ₃	۵/۷۳۰
T ₄	۵/۹۳۰

به‌طور کلی نتایج نشان داد شاخص قرمزی در تیمارها با گذشت زمان افزایش یافت Hosseinpour و همکاران (۱۳۹۲) با به‌کارگیری رنگ‌های طبیعی کوچینیل و پاپیریکا در سوسیس‌های فرانکفوتر

گزارش کردند که جایگزینی رنگدانه‌ها در نمونه‌های سوسیس با میزان جایگزینی ۱ mg پاپیریکا و ۴۰ mg نیتريت و یا نمونه دارای ۰/۰۰۲٪ و ۴۰ mg نیتريت مشابه با نمونه شاهد ۱۲۰ mg نیتريت و شاخص a^*

نگهداری تأثیری بر افزایش یا کاهش اندیس زردی ندارد. درحالیکه Tahmouzi و همکاران (۲۰۱۲) کاهش اندیس زردی را در فرانکفورت و هات‌داگ‌های جایگزین شده با پودر آناتو و پاپریکا مشاهده کردند. اختلاف رنگی اندازه‌گیری شده اگر بیش از ۲ باشد به عنوان تغییرات کلی قابل دید در تیمارها در نظر گرفته می‌شود (Moarefian et al., 2012) مطابق جدول ۵ فقط اختلاف در تیمار T₁ اختلاف رنگی قابل دید وجود نداشت در نتیجه در این تیمار نیتريت نقش کمتری در ایجاد رنگ داشته و بیشتر تأثیر آنتی‌باکتریایی داشته است.

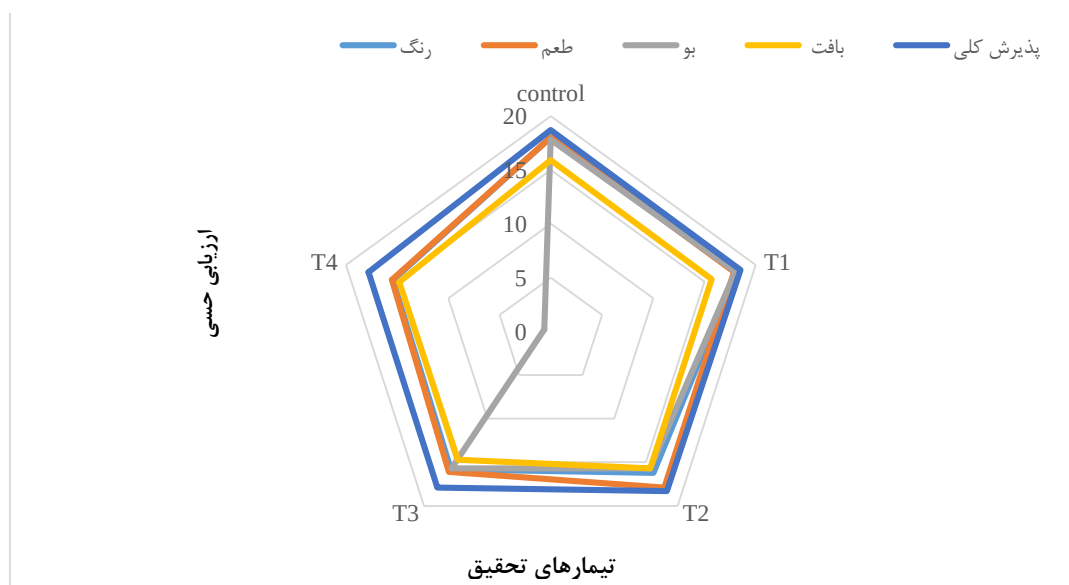
ارزیابی حسی در تیمارها

در بررسی آزمون ارزیابی حسی، دامنه تغییرات برای صفت رنگ بین ۱۵/۴ تا ۱۸/۱ مشاهده گردید و همچنین مشخص گردید تیمار T₁ اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد ندارند و بالاترین امتیاز رنگ به تیمار T₁ با کمترین مقدار پودر رازیانه و کاهو تعلق گرفت. امتیاز طعم و بو، بافت و پذیرش کلی نشان داد تا افزودن ۶۰ ppm پودر کاهو و رازیانه تأثیری بر طعم و بوی تیمارها نداشت که می‌تواند ناشی از طعم و مزه رازیانه به عنوان یک ادویه مناسب در فرآورده‌های گوشتی باشد. با افزایش پودر کاهو و رازیانه کاهش امتیاز عطر و بو در تیمارها توسط ارزیاب‌ها مشاهده شد. به طور مجموع بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون‌های حسی مشخص گردید که تیمار T₁ بیشترین مشابهت را نسبت به تیمار شاهد داشت.

در آن مشابه است ولی با افزایش مقدار جایگزینی این شاخص کاهش یافت. از طرفی نشان دادند زمان نگهداری از هفته ۰ تا ۴ نگهداری، مقدار شاخص قرمزی در تمامی نمونه‌ها کاهش یافت. Mansi و همکاران (۲۰۰۹) کاهش میزان قرمزی در نمونه فرآورده‌های گوشتی را نشان دادند که علت آن را اکسیداسیون رنگدانه‌های قرمز گزارش دادند که با نتایج بدست آمده این تحقیق مطابقت نداشت که این امر احتمالاً به دلیل تأثیر نیتريت باقیمانده بر ثبات رنگ تیمارهاست.

عامل درخشندگی (L*) در فرآورده‌های گوشتی به فاکتورهای از جمله غلظت، نوع و محتوی آب رنگدانه‌های موجود و خاصیت جذب رطوبت مواد حل شده توسط ماتریکس بستگی دارد (Al-Marazzeq et al., 2015). نتایج حاصل از بررسی L* در تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان نداد و نگهداری طی ۳۰ روز انجام آزمایش تأثیر مهمی بر این پارامتر نداشته است. Liu و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند افزودن رزوماری و چوب ماهون به سوسیس مرغ طی ۱۴ روز تفاوتی در درخشندگی تیمارها گزارش نکردند. در حالیکه Al-Marazzeq و همکاران (۲۰۱۵) کاهش L* را با افزایش پودر چغندر قند در سوسیس گوساله را نشان دادند.

بیشترین و کمترین اندیس زردی (b*) به ترتیب مربوط به تیمار T₁ و T₄ بود و در سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اختلاف در اندیس زردی مربوط به حضور رنگدانه‌هاست و ربطی به روند اکسیداسیون ندارد (Al-Marazzeq et al., 2015)، که این علت می‌تواند در اثر رنگ ترکیب پودر کاهو و رازیانه مورد استفاده در این تحقیق ایجاد شده باشد. Ashley (۲۰۱۲) بیان کرد مدت زمان



شکل ۷- بررسی ارزیابی حسی نمونه‌های سوسیس حاوی پودر کاهو و رازیانه

نتیجه گیری

نتایج بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی تیمار T4 با ۱۲۰ ppm ترکیب پودر کاهو و رازیانه و بدون نیتريت افزوده شده با میانگین عدد تیوباربیتوریک اسید ۲۴ mg Malone Aldehyde /Kg و شاخص عدد پراکسید با میانگین ۰/۵۹ me O₂/kg در مقایسه با نمونه شاهد با ۱۲۰ ppm نیتريت افزوده شده نتایج مطلوب تری را نشان داد. در خصوص کشت میکروبی در طی ۳۰ روز، باکتری های کلیفرم، کلوستریدیوم پرفرنزنس، کپک و مخمر رشد نداشتند که نشان دهنده شرایط مناسب تولید و کیفیت مواد مورد استفاده بود. در خصوص شمارش باکتری های کلی نمونه شاهد حاوی ۱۲۰ ppm نیتريت نسبت به سایر نمونه ها بهترین مقاومت نسبت به رشد باکتری ها نشان داد که

منابع

با نتایج حاصل از اندازه گیری نیتريت باقی مانده مطابقت داشت. تیمار T1 با میزان پذیرش کلی ۱۸/۵۰ در آزمون ارزیابی حسی، میانگین ۱۰/۱۱ در آزمون شاخص قرمزی، میانگین ۰/۶۹ در اندازه گیری عدد پراکسید، میانگین ۴۲/۵۶ در اندازه گیری عدد تیوباربیتوریک اسید، میانگین pH ۶/۴۳ و میانگین ۵۶/۴۸ در اندازه گیری میزان نیتريت باقی مانده، بیشترین شباهت را به نمونه شاهد داشت. با توجه به خصوصیات سلامتی بخش ترکیبات گیاهی مانند خصوصیات ضدسرطانی از یک طرف و نیز زیان های ناشی از استفاده از نگهدارنده های سنتزی (مانند نیتريت در فرآورده های گوشتی) برای سلامتی انسان از طرف دیگر، می توان جایگزینی بخشی از نیتريت (حداقل ۶۰ ppm) را گامی مؤثر در جهت بهبود ارزش غذایی فرآورده های گوشتی دانست.

- Ahn, H.J., Kim, J.H., Jo, C., Lee, C.H. and Byun, M.W., 2002. Reduction of carcinogenic N-nitrosamines and residual nitrite in model system sausage by irradiation. *Journal of Food Science*, 67(4), pp.1370-1373.
- Alina, A.R., Mashitoh, A.S., Babji, A.S., Maznah, I., Syamsul, K.M.W. & Muhyiddin, Y., 2012. Oxidative stability of smoked chicken sausage substituted with red palm mid fraction during chilled storage. *World Applied Sciences Journal*, 17(THTA): 62-66.
- Al Marazzeq, K., Haddadin, M., Al Abdullah, B. and Angor, M., 2015. Effect of nitrite substitution with olive leaves extract on color and sensory properties of beef mortadella. *Journal of Agricultural Science*, 7(12):120.
- Ashley, H. 2013. The effect of pH and nitrite concentration on the antimicrobial impact of celery juice compared with sodium nitrite on *Listeria monocytogenes*. MSc thesis, Iowa State University.
- Borchert, L. and Cassens, R., 1998. Chemical hazardous analysis for sodium nitrite in meat curing. *University of Wisconsin Sin Journal*, 4:35-41.
- Dineen, N.M., Kerry, J.P., Lynch, P.B., Buckley, D.J., Morrissey, P.A. and Arendt, E.K., 2000. Reduced nitrite levels and dietary α -tocopheryl acetate supplementation: Effects on the colour and oxidative stability of cooked hams. *Meat science*, 55(4):475-482.
- Doolaege, E.H., Vossen, E., Raes, K., De Meulenaer, B., Verhé, R., Paelinck, H. & De Smet, S., 2012. Effect of rosemary extract dose on lipid oxidation, colour stability and antioxidant concentrations, in reduced nitrite liver pâtés. *Meat science*, 90(4): 925-931.
- Farahnaky, A., Abbasi, A., Jamalian, J. and Mesbahi, G., 2008. The use of tomato pulp powder as a thickening agent in the formulation of tomato ketchup. *Journal of texture studies*, 39(2):169-182.
- Farkhondeh E, Hoseini E. Effects of Microencapsulated Nisin and Wastes of Tomato Processing, as an Alternative to Nitrite, on Some Chemical, Sensory and Microbial Characteristics of Sausage. 2017, *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 12 (1) :79-88.
- Fernández, J., Pérez-Álvarez, J.A. & Fernández-López, J.A., 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food chemistry*, 59(3):345-353.
- Gassara, F., Kouassi, A.P., Brar, S.K. & Belkacemi, K., 2016. Green alternatives to nitrates and nitrites in meat-based products—a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(13):2133-2148.
- Georgantelis, D., Ambrosiadis, I., Katikou, P., Blekas, G. & Georgakis, S.A., 2007. Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4 °C. *Meat science*, 76(1):172-181.
- Hord, N.G. and Conley, M.N., 2017. Regulation of dietary nitrate and nitrite: balancing essential physiological roles with potential health risks. In *Nitrite and Nitrate in Human Health and Disease* (pp. 153-162). Humana Press, Cham.
- Hosseinpour, S., Eskandari, M.H., Mesbahi, G.R., Shakar Forosh, Sh., & Frahnaki, E. 2013, Investigation of the use of natural cochineal and paprika dyes in order to create color in low-nitrite and nitrite-free Frankfurter sausages. *Iranian Journal of Food Science and Industry Research*, 9(3). 243-252.
- Hwang, K.E., Kim, T.K., Kim, H.W., Seo, D.H., Kim, Y.B., Jeon, K.H. and Choi, Y.S., 2018. Effect of natural pre-converted nitrite sources on color development in raw and cooked pork sausage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(8), p.1358.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 1994, Animal and vegetable oils and fats - test preparation. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 3226.

- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI).1996, Measurement of nitrate in meat products - reference method. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 923.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI).2002, Meat and its products - Determination of total ash content - Test method. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 744.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2003, Meat and meat products - Determination of moisture by reference method - Test method. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 745.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2005, Sausages - Features and Test Methods. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 2303.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2006, Food and feed microbiology - a comprehensive method for searching, identifying and counting *Clostridium perfringens*. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 2197.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2007, Vegetable and animal oils and fats - Measurement of thiobarbituric acid number directly. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 10494.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2008, Microbiology of food and feed - a comprehensive method for identifying and counting coliforms. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 1116.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI).,2009, Microbiology of food and animal feed - a comprehensive method for counting molds and yeasts - Part 1- Colony counting method in products with aqueous activity (Aw) greater than 0.95. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 10899.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2009, Vegetable and animal oils and fats - Measurement of peroxide number - Determination of end point by potentiometric method. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 19197.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI).,2014, Food Chain Microbiology - A Comprehensive Method for Counting Microorganisms - Part 1- Colony Count at 30 C Using Mixed Culture Method. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 5272.
- Jantawat, P., Runglerdkriangkrai, J., Thunpithayakul, C. and Sanguandeeul, R., 1993. Effects of initial nitrite level, heating and storage on residual nitrite and spoilage of canned ham roll. *Journal of food quality*, 16(1), pp.1-11.
- Jin, S.K., Choi, J.S., Moon, S.S., Jeong, J.Y. & Kim, G.D., 2014. The assessment of red beet as a natural colorant, and evaluation of quality properties of emulsified pork sausage containing red beet powder during cold storage. *Korean journal for food science of animal resources*, 34(4):472.
- Kayisoglu, S., Yilmaz, I., Demirci, M. & Yetim, H., 2003. Chemical composition and microbiological quality of the doner kebabs sold in Tekirdag market. *Food Control*, 14(7):469-474.
- Khaleghi A, Rezaei K, Kasaei M, Khosravi-Darani K, Soleymani M. 2013, Evaluation of antioxidant properties of Berberis crataegina extract on fat oxidation of beef sausages during refrigerated storage. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7 (5):345-353.
- Khodae, S., & Khani, M.R. 2018, Effect of partial substitution of nitrite in sausage formulation by rosemary essential oil and red beet powder. *Journal of Food Industry Research*. 28 (1):79-88.
- Liu, D.C., Tsau, R.T., Lin, Y.C., Jan, S.S. and Tan, F.J., 2009. Effect of various levels of rosemary or Chinese mahogany on the quality of fresh chicken sausage during refrigerated storage. *Food chemistry*, 117(1):106-113.
- Maleki Kahaki, A., Bagheri, M. & Nateghi, L. 2017. Effects of nitrite substitution with celery extract on antioxidant, antimicrobial, sensory and color chicken cocktail sausages. *Journal of Food Science and Technology*, 14(69): 269-281.
- Mansi, K., & Abushoffa, A. 2009. Hypolipidemic effect of seed extract of cheley (*Apiumgraveolens*) in rat. *Pharmachon Maq*. 23: 301-305.
- Moarefian M, Barzegar M, Sattari M & Naghdi Badi H, 2012. Production of functional cooked sausage by Mentha piperita essential oil as a natural antioxidant and antimicrobial material. *Journal of Medicinal Plants* 11(41): 46-57.
- Molanejad, M., Hedayatifard, M. & Golestan, L. 2016, increasing of shelf-life of heated ham using natural preservative chitosan as replacing of sodium nitrite. *Journal of Food Industry Research*. 26(1): 99-112.
- Nielsen, S.S. 2010. Food Analysis. Food Science Texts Series.4thed.SpringerScience.UK.107-115.
- Ozaki, M.M., Munekata, P.E., Jacinto-Valderrama, R.A., Efraim, P., Pateiro, M., Lorenzo, J.M. and Pollonio, M.A.R., 2020. Beetroot and radish powders as natural nitrite source for fermented dry sausages. *Meat Science*, p.108275.
- Perea-Sanz, L., Montero, R., Belloch, C. & Flores, M., 2018. Nitrate reduction in the fermentation process of salt reduced dry sausages: Impact on microbial and physicochemical parameters and aroma profile. *International journal of food microbiology*, 282:84-91.
- Perea-Sanz, L., Montero, R., Belloch, C. & Flores, M., 2019. Microbial changes and aroma profile of nitrate reduced dry sausages during vacuum storage. *Meat science*, 147:100-107.
- Riyad, Y.M., Ismail, I.M.M. & Abdel-Aziz, M.E., 2018. Effect of vegetable powders as nitrite sources on the quality characteristics of cooked sausages. *Bioscience Research*, 15(3): 2693-2701.

- Roby, M.H.H., Sarhan, M.A., Selim, K.A.H. & Khalel, K.I., 2013. Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Industrial crops and products*, 44:437-445.
- Rojsuntornkitti, K., Jittrepotch, N., Kongbangkerd, T. & Kraboun, K., 2010. Substitution of nitrite by Chinese red broken rice powder in Thai traditional fermented pork sausage (Nham). *Int Food Res J*, 17:153-161.
- Sallam, K.I., Ishioroshi, M. & Samejima, K., 2004. Antioxidant and antimicrobial effects of garlic in chicken sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 37(8): 849-855.
- Seifi Nofaresti, S., Hosseini, S.A. & Khani, M.R. Investigation of the possibility of replacing nitrite and ascorbic acid in sausages using celery powder and fresh barberry juice during storage at 4 °C. *Journal of Food Microbiology*. 4(5): 85-97.
- Shahidi, F., 1998. Flavor of meat, meat products and seafoods. Department of Biochemistry Memorial University of Newfoundland St John's, Newfoundland Canada. Second edition.
- Sindelar, J.J., Cordray, J.C., Sebranek, J.G., Love, J.A. & Ahn, D.U., 2007. Effects of varying levels of vegetable juice powder and incubation time on color, residual nitrate and nitrite, pigment, pH, and trained sensory attributes of ready-to-eat uncured ham. *Journal of Food Science*, 72(6): 388-395.
- Sriket, P. and Senphan, T., 2020. Effect of sweet basil *ocimum basilicum* l. leaves powder on qualities of pork emulsion sausage (Moo Yor). *RMUTP research journal*, 12(1): 77-91.
- Sucu, C. & Turp, G.Y., 2018. The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. *Meat science*, 140:158-166.
- Tahmouzi, S., Razavi, S.H., Safari, M. & Emam-Djomeh, Z., 2012. Influence of beet sugar, calcium lactate, and staphylococcus xylosus (with nitrate reductase activity) on the chemical, microbiological, and sensorial properties of Persian uncured frankfurters. *Journal of food science*, 77(10): 565-571.
- Vossen, E., Utrera, M., De Smet, S., Morcuende, D. & Estévez, M., 2012. Dog rose (*Rosa canina* L.) as a functional ingredient in porcine frankfurters without added sodium ascorbate and sodium nitrite. *Meat Science*, 92(4):451-457.



Effects of lettuce (*sativa Lactuca*) and (*Foeniculum vulgare*) powder as a natural source of nitrate on the physical, chemical and microbiological properties and sensory evaluation of vacuum packed sausage

Z. Yousofi Mojir¹, A. Rahman^{2*}, M. Otadi³

Received: 2020.01.23

Accepted: 2020.11.11

Introduction: Due to the risks of using synthetic preservatives such as nitrite and its salts in meat products, there have been some efforts to reduce these synthetic preservatives in food. This study aimed to investigate the replacement of part of nitrite in 55% sausage formulation based on the conventional formula of a manufacturer.

Materials and Methods: For this purpose, Samples were produced with 120 ppm nitrite and a combination of lettuce and *Foeniculum vulgare* powder in four formulas including T1 (90 ppm nitrite+ 30 ppm lettuce and fennel powder), T2 (60 ppm nitrite+ 60 ppm lettuce and fennel powder), T3 (30 ppm nitrite+ 90 ppm lettuce and fennel powder) and T4 (120 ppm lettuce and fennel powder) and a control sample with 120 ppm nitrite (without lettuce and fennel powder). Physicochemical sensory, and microbial properties were investigated during 30 days of refrigerated storage.

Results and Discussion: The lowest pH (2.75%) did observe in T1 treatment on the 30th day of the experiment ($p<0.05$). The lowest moisture content (56.52%) and ash (2.43%) related to the control treatment on the 30th day of the experiment ($p<0.05$). Application of 30, 60, 90, and 120 ppm levels of lettuce powder and fennel in the treatments showed a decrease of 17, 18, 16, and 24% in the nitrate content of the samples, respectively ($p<0.05$). The highest and lowest peroxide value was 1.15 meq O_2/Kg for the control sample on the 30th day and 0.3 meq O_2/Kg for the T4 sample on the first day of the experiment, respectively. Regarding thiobarbituric acid index, the highest and lowest values were for the control sample with 24 mg Malonaldehyde/Kg on the twentieth day and 15.76 mg Malonaldehyde/Kg for the T4 sample on the 30th day of the experiment, respectively ($p<0.05$). The bacterial growth rate is lower in treatments containing combination lettuce, *Foeniculum vulgare* powder, and nitrite but in general, an increasing trend in microbial load observed in all treatments during 30 days of storage ($p<0.05$), While *Clostridium perfringens*, coliform, mold, and yeast did not grow on the treatments for 30 days ($P>0.05$). In the sensory evaluation of treatments, the lowest a^* observed in T4 treatment. The highest and lowest b^* related to T1 and T4 treatments, respectively, While the combination lettuce and *Foeniculum vulgare* powder did not show any effect on the L^* . The results of the sensory evaluation showed that the addition of lettuce and *Foeniculum vulgare* powder up to 60 ppm had no effect on the taste and smell of the treatments and showed a decrease in the aroma score in the treatments with increasing combination powder. Finally, the results of this study showed the possibility of successful replacement of some nitrite (at least 60 ppm) with a combination of lettuce and fennel powder.

Keywords: Lettuce Powder, *Foeniculum vulgare* powder, Sausage, Nitrite

1 and 2. MSc Student and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3. Associated Professor, Department of chemical engineering, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran.

(Corresponding Author E-mail: alireza_rahman@yahoo.com)

مقاله پژوهشی

تهیه و فرمولاسیون کره نیم چرب اسپرید عملگرا با میکروامولسیونهای حاوی امگا ۳

شقایق میراحسان پذیر^۱ - مریم قراچورلو^{۲*} - غلامحسن اسدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۴

چکیده

امروزه غنی سازی به عنوان یکی از بخش های مهم در صنایع غذایی محسوب می شود. هدف از این تحقیق غنی سازی کره اسپرید نیم چرب با امگا ۳ با روش میکروامولسیون سازی امولسیفیکاسیون / ژلاسیون می باشد. میکروامولسیون های حاوی امگا ۳ پس از تهیه و فرمولاسیون با غلظت های ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳ از نظر ساینز، اندازه ذرات، میزان به دام اندازی و میزان رهش ارزیابی شدند. پس از آن کره پاستوریزه نیم چرب اسپرید با میکروامولسیون های امگا ۳ غنی سازی شد و نمونه های کره در شرایط انجماد نگهداری شدند و آزمون های شاخص پراکسید، اسیدیته، حسی (طعم و مزه، عطر و بو، رنگ ظاهری و پذیرش کلی) در بازه های زمانی روز تولید، ماه اول، دوم، سوم و چهارم ارزیابی شدند. نتایج آزمون با روش آنالیز واریانس و در سطح ۰/۰۵ با نرم افزار SPSS 22 مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه ذرات میکروامولسیون بین ۹۵ تا ۱۱۹ نانومتر بود. میزان به دام اندازی امگا ۳ بین ۶۵ تا ۷۹ درصد بود. نتایج نشان داد که شاخص پراکسید، اسیدیته و شاخص حسی تیمارهای کره طی زمان نگهداری افزایش معنی داری تا انتهای ماه چهارم نگهداری نشان داد. کمترین میزان تغییرات شاخص های حسی و فیزیکی شیمیایی در مورد تیمار کره دارای میکروامولسیون های با ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳ مشاهده شد و بیشترین میزان تغییرات در کره پاستوریزه شاهد مشاهده شد، نهایتاً با توجه به نتایج ارزیابی شاخص های حسی و فیزیکی شیمیایی، تیمار کره پاستوریزه نیم چرب اسپرید دارای ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳ به عنوان تیمار برتر انتخاب و معرفی شد.

واژه های کلیدی: کره اسپرید پاستوریزه نیم چرب، میکروامولسیون های آلزینات سدیم / پروتئین آب پنیر، امگا ۳، غنی سازی.

مقدمه

امروزه در کشورهای توسعه یافته یعنی جایی که وابستگی ژرفی به غذاهای فرآوری شده وجود دارد، غنی سازی غذا نقش عمده ای را در تندرستی این جوامع طی ۴۰ سال گذشته ایفا نموده و سبب ریشه کن شدن سوء تغذیه در این کشورها شده است. در کشورهای در حال توسعه نیز غنی سازی به عنوان اقدامی برای بهبود وضعیت دریافت ریز مغذی ها به طور فزاینده ای در حال رخ نمایی است. هنگامی که غنی سازی بر طبق الگوهای موجود بنا می شود، نیازی به تغییر در رژیم غذایی جامعه مرسوم وجود ندارد و صحبتی از پذیرش یا عدم پذیرش به میان نمی آید. بنابراین در اغلب مواقع می توان غنی سازی را پیاده نموده و برای مدت طولانی ادامه داد. از این رو غنی سازی می تواند با صرفه ترین وسیله یا اقدام برای فائق آمدن بر سوء تغذیه نسبت به ریز مغذی ها تلقی شود (Rastmanesh, 2008). غنی سازی مواد غذایی، شیوه ای برای جبران کمبود ریز مغذی ها در جامعه است که تمام کشورهای دنیا از آن استفاده می کنند تا بتوانند کمبود مواد مغذی ضروری در جامعه را به حداقل رسانده یا آن را تحت کنترل درآورند؛ به عبارت بهتر، غنی سازی مواد

غذایی یکی از ۴ استراتژی مهم در بحث کنترل و پیشگیری از کمبود ریز مغذی هاست. امگا ۳ نوعی اسید چرب غیر اشباع است که در ساختار آن یک گروه کربوکسیل (COOH) و یک زنجیره کربنی با چندین پیوند دوگانه وجود دارد. علت نامگذاری آن، قرار گرفتن اولین باند دوگانه در بین اتم کربن های ۳ و ۴ در ساختمان شیمیایی مولکول آن از سمت گروه متیل انتهایی است و همین محل قرارگیری باند دوگانه باعث پیداشدن خواص بیوشیمیایی خاص در امگا ۳ می شود. از بیست سال پیش تحقیقات زیادی درباره ارتباط بین مصرف اسیدهای چرب امگا ۳ و بعضی ناراحتی های مغزی صورت گرفته است. همچنین آزمایشات بالینی نشان می دهد که کمبود امگا ۳ می تواند زمینه ابتلا به بیماری هایی از جمله مشکلات خلقی و اضطراب، روان پریشی، اختلالات توجه، وسواس فکری، اختلالات شخصیت، افسردگی، زوال عقل و اوتیسم را تشدید کند. البته این تحقیقات تایید نمی کنند که کمبود امگا ۳ تنها عامل بروز این بیماری هاست؛ بلکه تنها می توان نتیجه گرفت که این اسیدهای چرب تاثیر محافظتی در برابر اختلالات روانپزشکی به خصوص در افرادی که احتمال خطر در آنها بالاست را دارد (Umesha

(- نویسنده مسئول: Email: Gharachorloo.m@gmail.com)

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(*et al.*, 2015). مکانیسم عمل امگا ۳ در پیشگیری از ابتلا به چنین بیماری‌هایی متعدد و ناشناخته است. اما می‌توان گفت که به‌عنوان مثال می‌تواند از نورون‌ها در برابر استرس اکسایشی محافظت کند. همچنین امگا ۳ با بسیاری از فاکتورها و گیرنده‌های مولکولی در روند حافظه، شناخت و منطق، کنش متقابل دارد. امگا ۳ نقش غیرمستقیمی بر تنظیم سروتونین دارد. این ناقل عصبی خلق و خو را کنترل می‌کند و در بروز افسردگی نقش دارد. یکی دیگر از تأثیرات امگا ۳ کاهش التهاب در بافت‌های مغز است. این در حالی است که التهاب دائمی می‌تواند موجب عدم فعالیت نورون‌ها و رشد بیماری‌های مغزی از جمله افسردگی شود (Ameli & Nouri Golkhandan, 2011). استفاده از ترکیبات اسیدچرب به‌طور مستقیم در غنی‌سازی مواد غذایی مشکلاتی مانند اتواکسیداسیون، بدطعمی، کاهش زیست‌فراهمی و همچنین ناپایداری در برابر نور و حرارت ایجاد می‌کند که منجر به استفاده از تکنیک‌های مختلف جهت انکپسولاسیون آن گردیده است. در سال‌های اخیر به دلیل افزایش تقاضا برای غذاهای کم‌چرب، صاحبان صنایع درصدد تولید این نوع غذاها با ظاهر و ویژگی‌های ظاهری محصولات پرچرب برآمده و فرآورده‌های جایگزین چربی را به بازار ارائه کرده‌اند. این محصولات و ترکیبات، ویژگی‌های حسی و کاربردی چربی‌ها را دارند، ولی از نظر شیمیایی در گروه چربی‌ها قرار نمی‌گیرند و انرژی کمتری نسبت به چربی‌ها دارند. این ترکیبات ممکن است دارای چند یا تمامی ویژگی‌های چربی‌ها باشند (Roller, 1996). این چربی‌ها باعث ایجاد حجم و احساس طعمی مشابه چربی می‌شوند، ولی کالری کمتری تولید می‌کنند. علت کم‌کالری بودن این ترکیبات، دانسیته کالری کمتر و نیز داشتن آب زیاد می‌باشد که این آب زیاد جایگزین چربی می‌گردد. معمولاً، این ترکیبات در غذاهایی که محتوای آب بالایی دارند، مانند سس‌ها و اسپردها، استفاده می‌شود. جایگزین‌هایی که در این گروه قرار دارند، معمولاً بر پایه کربوهیدرات و پروتئین هستند که از دانه‌ها و غلات و سلولز تهیه شده و در انواع فرآورده‌های لبنی، دسرهای منجمد، سس‌های سالاد، گوشت‌های فرآوری شده، فرآورده‌های قنادی، اسپردها و آدامس کاربرد دارند؛ ولی برای استفاده در غذاهای سرخ‌شدنی مناسب نمی‌باشند، زیرا در حرارت‌های بالا تجزیه می‌شوند. جایگزین‌های چربی در واقع موادی‌اند که از دیر باز مورد استفاده بوده و فقط روش جدیدی برای کاربرد آن افزوده شده است. گروهی از آنها قبلاً بدون کاربرد بوده اما از ترکیبات اصلی مشتق شده‌اند و نوع سوم جایگزین‌های جدیدی هستند که مخلوطی از مواد اصلی می‌باشند مثل اولسترا. کمک به کاهش میزان چربی اشباع، کاهش مصرف انرژی برای بهبود سلامتی، افزایش دلپذیری غذا بدون افزایش میزان چربی و کاهش ایجاد چاقی، بیماری‌های خاص و مزمن از اهدافی هستند که با مصرف این جایگزین‌ها دنبال می‌شوند (Rodrigues *et al.*, 2013). میکروانکپسولاسیون فرایند به‌کارگیری یک حامل برای میکروارگانیزم حساس و ترکیبات با ناپایداری بالا و همچنین گران‌قیمت به‌منظور

حفاظت از شرایط محیط خارجی است، بنابراین صدمات سلولی را کاهش می‌دهد. پلیمرهای طبیعی بر اساس مواد موجود به جهت خواص زیست‌تخریب‌پذیری، سازگاری با مواد غذایی و قابلیت زنده بودن سیستم‌های انتقال کنترل شده محسوب می‌شود (Doherty *et al.*, 2011). امولسیون‌ها تعلیق‌های کلوئیدی با حداقل دو مایع غیرقابل امتزاج هستند که دارای سامانه نامتعادلی هستند و به‌طور خودبه‌خودی تشکیل نمی‌شوند. ساختمان امولسیون‌ها از قطرات پراکنده یک مایع (فاز معلق یا فاز داخلی) در یک مایع دیگر (فاز پیوسته یا فاز خارجی) تشکیل شده است. امولسیون‌ها را، از روی اندازه قطرات امولسیون، به میکرو (۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر)، مینی یا نانو (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر) و ماکرو (۰/۵ تا ۱۰۰ میکرومتر) تقسیم می‌کنند. امولسیون‌هایی که قطر ذرات آنها در مقیاس نانومتری و بر اساس نظر اکثر نویسندگان، حداکثر ۵۰۰ نانومتر باشد میکروامولسیون خوانده می‌شوند. در ضمن، اغلب ویژگی‌های امولسیون‌ها مانند پایداری، رئولوژی، ظاهر، رنگ و بافت آنها به اندازه قطرات امولسیون و توزیع اندازه قطرات بستگی دارد. به همین دلیل، کنترل، پیش‌بینی، اندازه‌گیری و گزارش اندازه قطرات در امولسیون‌های تهیه‌شده برای کاربردهای مختلف بسیار مهم و ضروری است (Yousefi *et al.*, 2017). اصولاً میکروامولسیون‌ها به‌واسطه اندازه ویژه، ظاهری شفاف یا نیمه‌شفاف دارند و به لحاظ توزیع اندازه قطرات از پایداری سینتیکی بالا، گرانی کمی و پایداری بالا در برابر پدیده‌های ترسیب، خامه‌ای شدن، به‌هم پیوستن و لخته شدن برخوردارند و به همین دلایل امروزه برای کاربردهای صنعتی فراوانی مورد توجه قرار گرفته‌اند. لازم به توضیح است که تکنیک‌های مختلفی برای تولید میکروامولسیون‌ها وجود دارد که هر یک از آنها باعث تولید میکروامولسیون‌هایی با ویژگی‌های متفاوت می‌شود و هر یک دارای مزایا و معایبی است (Calligaris *et al.*, 2016). امولسیون‌های روغن در آب ممکن است روشی موثر برای انتقال اسیدهای چرب امگا ۳ در غذاهای عملگر باشد (Djordjevic *et al.*, 2006). تحقیقات نشان داده است که محصولات لبنی مانند پنیر و کره سیستم‌های حامل خوبی برای افزایش سطح امگا ۳ می‌باشند (Kolanowski and Weibrodt, 2007). در این تحقیق غنی‌سازی کره اسپرید نیم‌چرب با میکروکپسول‌های امگا ۳ با هدف بررسی اثرات امگا ۳ بر روی ماندگاری و خواص حسی و فیزیکوشیمیایی کره اسپرید نیم‌چرب انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق آلژینات سدیم و هیدروکسیدسدیم از شرکت سیگما آلدْرِیج آلمان و همچنین پودر ایزوله آب پنیر از شرکت فوتترا نیوزیلند تهیه و خریداری شد. روغن امگا ۳ نیز از شرکت DSM هلند تهیه شد. شیر بدون چربی از شرکت آریا رامنا، کره از شرکت شکلی و امولسیفایر از شرکت DMG دانمارک خریداری شد.

تهیه و فرمولاسیون میکروامولسیون های حاوی امگا ۳

میکروامولسیون ها بر اساس روش Chen و Subirade (۲۰۰۶) با اندکی تغییر تهیه شدند. پودر ایزوله آب پنیر (WPI) در ۸٪ وزنی/حجمی آب با هم زدن در درجه حرارت اتاق به مدت یک ساعت خیس خورده و سپس اجازه داده شد تا دوساعت به طور کامل هیدراته شود. pH محلول حاصل با افزودن هیدروکسید سدیم ۱ N تا pH=۸ تنظیم شد، سپس تا ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد تا کمپلکس پروتئینی آن کاملاً دناتوره شود. محلول WPI را سپس خنک نموده و در درجه حرارت اتاق به مدت ۲ ساعت نگهداری شد. محلول روغن ماهی حاوی امگا ۳ با نسبت ۱۰ درصد وزنی/حجمی در ۰/۱ مول هیدروکسید سدیم به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شده و به صورت قطره قطره به آن اضافه شده، پودر آلزینات سدیم به میزان ۲٪ وزنی/حجمی را قبلاً در آب مقطر حل کرده و در طول یک شب هم زده شد و به محلول حاصل اضافه شد تا محلول ۰/۴٪ وزنی/حجمی میکروسفرهای آلزینات/پروتئین آب پنیر حاوی امگا ۳ با سانتریفوژ دور ۲۲۰۰ rpm به مدت ۵ دقیقه (جهت تبخیر حلال و به دام اندازی امگا ۳ باقیمانده در محلول) با روش امولسیفیکاسیون/ژلاسیون داخلی تشکیل شود و در آخر توسط روش لیوفیلیزاسیون، میکروامولسیون ها به پودر تبدیل شدند (Poncelet et al., 1992).

ارزیابی خصوصیات میکروامولسیون ها

ارزیابی سایز، شاخص پلی دیسپرسیته و خصوصیات مورفولوژیکی

برای بررسی اندازه و توزیع اندازه میکروامولسیون ها از دستگاه زتاسایزر (Malvern Instruments, South-borough, MA, آمریکا) استفاده شد و اندازه گیری میکروامولسیون ها در زاویه ۹۰ درجه و تابش نور لیزر با طول موج ۶۵۷ نانومتر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد صورت گرفت (Chen and Subirade, 2006). ویژگی های شکلی و ساختاری میکروامولسیون ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (ESEM, Philips, XL30) بررسی شد (Esfahani et al., 2018).

ارزیابی میزان به دام اندازی امگا ۳ توسط میکروامولسیون ها

برای تعیین میزان به دام اندازی امگا ۳ مقدار ۳۰ میلی گرم از میکروسفرهای خشک شده را وزن نموده و در ۲۵ میلی لیتر از بافر PBS (سالین فسفات بافر) با pH=۷/۴ حل نموده و تحت هم زدن شدید به مدت ۶ ساعت قرار داده شد. مخلوط حاصل در ۱۲۰۰ دور به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد سانتریفوژ شد. غلظت امگا ۳ در محلول فوقانی با استفاده از اسپکتروفتومتری طیف مرئی در طول موج ۴۴۵ نانومتر با استفاده از منحنی استاندارد شد. با استفاده از رابطه های ۱ و ۲ میزان موثر امگا ۳ به دام اندازی شده (EE) و میزان کل امگا ۳ به دام انداخته شده (LE) بدست آمد:

$$EE = A/B \times 100 \quad (۱)$$

(میزان موثر امگا ۳ به دام اندازی شده)

$$LE = A/C \times 100 \quad (۲)$$

(میزان کل امگا ۳ به دام انداخته)

در حالی که A میزان اسید چرب امگا ۳ در میکروامولسیون ها (میلی گرم)، B مقدار کل اسید چرب امگا ۳ (میلی گرم)، C وزن کلی میکروامولسیون ها (نانوگرم) تعریف شد (Chen and Subirade, 2006).

بررسی میزان آزادسازی اسیدچرب امگا ۳ از میکروامولسیون ها

رهایش اسیدهای چرب امگا ۳ از میکروامولسیون در محیط سالین بافر فسفات در دور همزن ۱۰۰۰ rpm در بازه های زمانی صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام شده و نمونه حاصل را با HPLC مدل Dionex مجهز به پمپ مدل Ultimate 3000 با دو ورودی حلال، سیستم گاززدا (Degasser) مدل CS6150، ستون P5 ODS (C18) Hichrome به طول ۲۵۰ میلی متر و قطر داخلی ۴/۶ نانومتر که با ذراتی با ابعاد ۵ میکرومتر پر شده، آشکارساز فلورسانس RF2000 Fluorescence Dionex طول موج تهییج ۳۳۰ و طول موج نشر ۵۵۰ نانومتر و شویش گرادینانت، فاز متحرک شامل دو بخش A (بافر فسفات با pH=۷ و استونیتریل به نسبت ۸۵:۱۵) و سرعت جریان ۰/۹ میلی لیتر بر دقیقه روش ارتقاء پیدا کرد و معتبر شد. نانوذرات با تزریق ۲۰ میکرومتر از نمونه آماده شده، حدوداً در دقیقه ۲۴، جدا، شناسایی و تعیین مقدار شد و داده ها با نرم افزار Chromeleon version 6.6 جمع بندی شدند. براساس معادلات شکل رهایش در برابر زمان ترسیم شد که k مقدار ثابت، t زمان و Mt میزان امگا ۳ آزاد شده در زمان t است. M^∞ و M_0 مقادیر آزادسازی در زمان های صفر و t است (Chen and Subirade, 2006).

$$dM/dt = k \quad (۳)$$

معادله درجه صفر

$$dMt/dt = K(M_0 - Mt) \quad (۴)$$

معادله درجه اول

$$1 + 2F - 3F^{3/2} = Kt \quad F = 1 - Mt/M^\infty \quad (۵)$$

مدل هیگوچی

تولید کره نیم چرب اسپرید عملگرا با میکروامولسیون های حاوی امگا ۳

امولسیفایر به شیر بدون چربی در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد اضافه شده و مخلوط حاصل با فشار ۸۰ بار هموزن گردیده و عملیات

و براساس آزمون هدونیک ۵ امتیازی ارزیابی شدند. در این آزمون ارزیاب ها به وسیله مشخص کردن اعداد ۱ تا ۵ نظر خود را اعلام داشتند. به طوری که عدد ۵ به منزله عالی، عدد ۴ خیلی خوب، عدد ۳ خوب، عدد ۲ نه خوب نه بد (بی تفاوت) و عدد ۱ ضعیف از نظر شباهت به کره تازه می باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

تمام نتایج با آزمون t-test و آنالیز واریانس بررسی و مقایسه شد و از نرم افزار SPSS 22 برای این منظور استفاده گردید.

نتایج و بحث

سایز میکرومولسیون های حاوی امگا ۳

همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می شود دامنه سایز میکرومولسیون ها از محدوده ۹۵ نانومتر تا ۱۱۹/۲ نانومتر بوده و شاخص پلی دیسپرسیته نیز از ۰/۳۶۰ تا ۰/۴۴۳ بین تیمارهای میکرومولسیون ها بوده است. به طور کلی با افزایش میزان استفاده از امگا ۳ در فرمولاسیون تیمارهای میکرومولسیون ها میزان شاخص سایز و پلی دیسپرسیته افزایش یافت.

پاستوریزاسیون در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ ثانیه انجام شد، سپس مخلوط حاصل تا دمای زیر ۱۰ درجه سانتی گراد خنک شده و به کره با دمای حداکثر ۶ درجه سانتی گراد اضافه گردید. از هر یک از میکرومولسیون های حاوی امگا سه با غلظت های ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳ به میزان ۱۰۰ میلی گرم به ازای هر ۱۰۰ گرم نمونه کره اضافه شده و تا زمان به دست آمدن یک مخلوط یکدست و یکنواخت مالش داده و کاملاً هم زده شد. پس از آن در دمای حداکثر ۱۶ درجه سانتی گراد محصول حاصل، بسته بندی گردیده و به سردخانه زیر صفر (۱۸-) درجه سانتی گراد منتقل شد و سپس در روز صفر (روز تولید) و ماه های اول، دوم، سوم و چهارم مورد ارزیابی قرار گرفت.

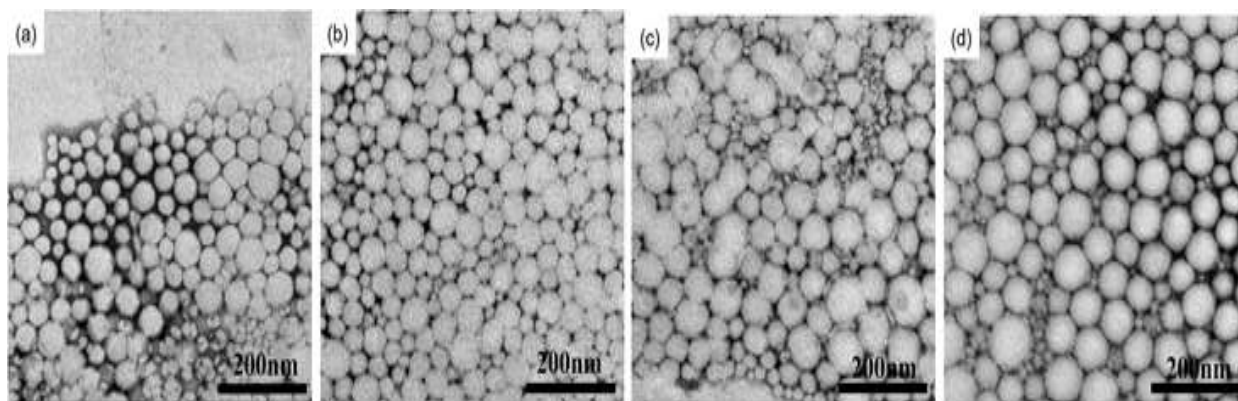
ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی کره نیم چرب اسپرید

عملگرا با میکرومولسیون های حاوی امگا ۳

اندازه گیری مقدار پراکسید به روش یدومتري- تعیین نقطه پایانی به طریق چشمی توسط استاندارد ملی به شماره ۴۱۷۹ صورت پذیرفت (Anon, 2008). اسیدیته کره به روش تیتراسیون و توسط استاندارد ملی به شماره ۴۱۷۸ تعیین شد (Anon, 2011). ویژگی های حسی نظیر طعم، رنگ، بو و پذیرش کلی با استفاده از ۱۵ ارزیاب آموزش دیده

جدول ۱- نتایج شاخص سایز و پلی دیسپرسیته میکرومولسیون های حاوی امگا ۳

T4(700mg Omega3)	T3(600mg Omega3)	T2(500mg Omega3)	T1(400mg Omega3)	کد تیمار
۱۱۹/۲	۱۱۸/۳	۱۰۳/۱	۹۵/۰۲	سایز (نانومتر)
۰/۴۴۳	۰/۳۷۸	۰/۳۹۴	۰/۳۶۰	شاخص پلی دیسپرسیته (PDI)



شکل ۱- نتایج میکروسکوپ الکترونی تیمارهای میکرومولسیون، (a):T1, (b); T2, (c);T3, (d):T4

T1= میکرومولسیون دارای ۴۰۰ میلی گرم امگا ۳

T2= میکرومولسیون دارای ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳

T3= میکرومولسیون دارای ۶۰۰ میلی گرم امگا ۳

T4= میکرومولسیون دارای ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳

میکرومولسیون ها روی توانایی سیستم انتقال ترکیبات برای انتقال و رهایش مؤثر ترکیبات کپسوله شده حائز اهمیت است. بنابراین پایداری

هدف اولیه تعیین شرایطی بود که در آن میکرومولسیون ها اندازه مناسب و کمترین شاخص پراکندگی را داشته باشند. اندازه

میکروامولسیون ها می تواند با بهینه سازی اندازه ذرات افزایش یابد. میکروکپسول های امگا ۳ دارای ساختار مورفولوژی هموزن بوده و دارای شکل کروی و بدون آگلومراسیون می باشد. شکل کروی میکروکپسول ها نیز به دلیل تعادل الکتروستاتیکی ایزوله پروتئین آب پنیر/ آلزینات در به دام اندازی امگا ۳ می باشد که قابلیت تشکیل شبکه تخم مرغی را نیز دارد و با عملکرد به عنوان هسته می تواند برای به دام اندازی امگا ۳ مورد استفاده قرار گرفته و باعث به دام اندازی امگا ۳ شود. همان گونه که در نتایج جدول ۱ نیز قابل مشاهده می باشد با افزایش میزان استفاده از امگا ۳ در فرمولاسیون نانوذرات میزان سایز نانوذرات به طور معنی داری افزایش یافت که با وزن مولکولی نانوذرات ارتباط دارد. به عبارتی افزایش وزن مولکولی ترکیبات باعث افزایش سایز نانوذرات حاصله گردید. وزن مولی مربوط به امگا ۳، ۳۹۴/۵ مول بر گرم بوده که با افزایش میزان استفاده از آن در فرمولاسیون میکروامولسیون ها جرم مولی کل به طور معنی داری افزایش می یابد که منجر به تولید سایز بزرگتری می شود. Mi و همکاران (۱۹۹۹) اثر نسبت های مختلف وزنی کیتوزان/ تری پلی فسفات را بررسی نمودند و

به این نتیجه دست یافتند که در نسبت وزنی بالاتر از ۳/۷۵، نانوذرات با اندازه بزرگتری تشکیل می شوند. در این راستا نیز تحقیقات مشابهی وجود داشت. Subongkot & Ngawhirunpat (۲۰۱۷) یک بررسی روی میکروامولسیون جدید برای افزایش جذب دهانی رتینوئیک اسید انجام دادند و دریافتند که ارتباط مثبت و معنی داری بین میزان اسید رتینوئیک و اندازه ذرات میکروامولسیون ها وجود داشته و میکروامولسیون ها از مورفولوژی هموزن نیز برخوردار بودند که با یافته های تحقیق حاضر نیز در توافق بود.

میزان به دام اندازی امگا ۳ در میکروامولسیون ها

با توجه جدول ۲ مشاهده می شود که میزان موثر امگا ۳ به دام اندازی شده در محدوده ۶۵ تا ۷۵ درصد بوده و میزان کل امگا ۳ به دام انداخته شده ۷۹-۶۲ درصد می باشد. کمترین میزان موثر امگا ۳ به دام اندازی شده و میزان کل امگا ۳ به تیمار T4 و بالاترین آن نیز به تیمار T2 تعلق داشت.

جدول ۲- نتایج میزان موثر امگا ۳ به دام اندازی شده و میزان کل امگا ۳ به دام انداخته شده

کد تیمار	T1	T2	T3	T4
میزان موثر امگا ۳ به دام اندازی شده (EE)	۷۵٪	۷۹٪	۷۳٪	۶۵٪
میزان کل امگا ۳ به دام انداخته شده (LE)	۷۹٪	۸۲٪	۷۶٪	۶۲٪

T1= میکروامولسیون دارای ۴۰۰ میلی گرم امگا ۳

T2= میکروامولسیون دارای ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳

T3= میکروامولسیون دارای ۶۰۰ میلی گرم امگا ۳

T4= میکروامولسیون دارای ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳

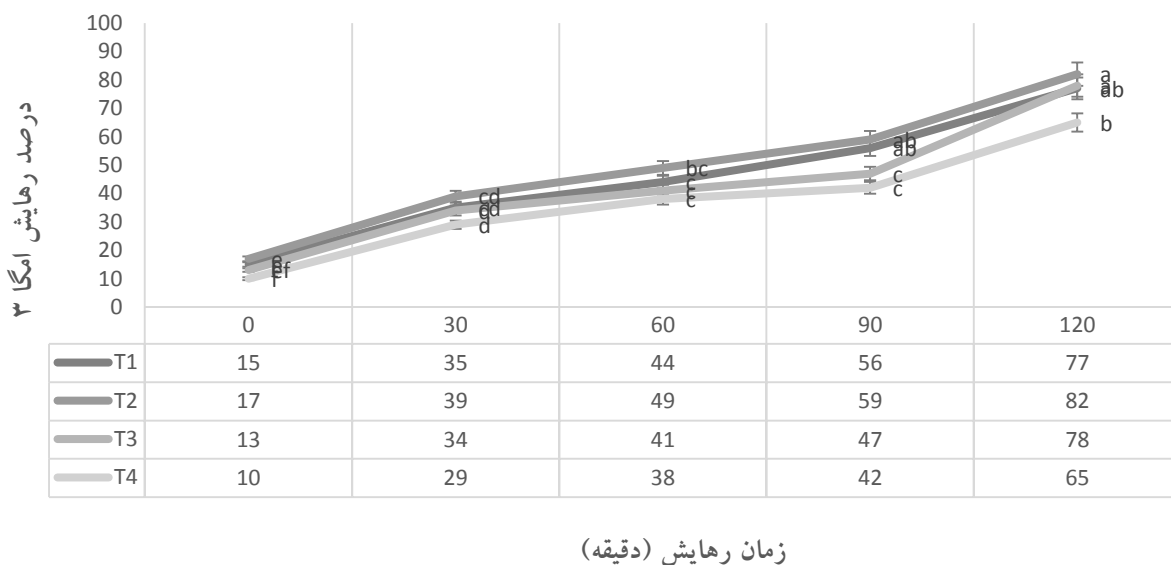
با افزایش میزان امگا ۳ مورد استفاده در فرمولاسیون میکروکپسول های آلزینات/ ایزوله پروتئین آب پنیر میزان به دام اندازی امگا ۳ نیز به طور معنی داری افزایش یافت که به دلیل افزایش غلظت وزنی امگا ۳ مورد استفاده در فرمولاسیون می باشد اما در مقادیر بالاتر T3 و T4 میزان کارایی به دام اندازی ترکیبات به طور معنی داری کاهش یافت. برهمکنش های غیر کووالانسی بین پروتئین- پلی ساکارید عامل تشکیل میکروامولسیون می باشد که با افزایش مقادیر اسید چرب امگا ۳ در فرمولاسیون تعادل الکتروستاتیکی پروتئین آب پنیر و آلزینات بهم خورده و منجر به تشکیل شکل کاملی از میکروامولسیون نشده و میزان به دام اندازی به طور معنی داری کاهش یافت. در مطالعات Penice و همکاران (۲۰۰۴) نشان داده شد که میزان کپسوله سازی با استفاده از نسبت های مختلف آلزینات- روغن بین ۴۲ تا ۹۲ درصد متغیر بوده است و در سطح ۱۵ یا ۲۰ درصد روغن (V/V) پس از ۴۸ ساعت روغن از داخل کپسول تراوش نموده که در توافق با تحقیق حاضر می باشد. جعفرپور و همکاران (۲۰۱۶) نیز در بررسی نانو ریزپوشانی اسیدچرب

امگا ۳ به وسیله ژلاتین ماهی و صمغ عربی با استفاده از روش کواکراسیون دریافتند که تغییرات غلظت امگا ۳ بیشترین تأثیر را در مقدار روغن کپسوله شده دارد و با افزایش مقدار اسیدچرب امگا ۳ مقدار روغن بیشتری کپسوله شده است که با نتایج به دست آمده از این تحقیق مطابقت دارد. Ilyasoglu و Sededf Nehir (۲۰۱۴) در بررسی نانوانکپسولاسیون EPA/DHA با کمپلکس سدیم کازئینات و صمغ عربی و استفاده از آن در غنی سازی آبمیوه، کارایی کپسوله سازی را با محاسبه درصد روغن به دام افتاده شده در داخل کپسول پروتئین- پلی ساکارید، برای محاسبه سطح غنی سازی آبمیوه با نانوکپسول های روغن ماهی اندازه گیری نمودند که نتایج حاکی از کارایی کپسولاسیون به میزان $2/89 \pm 78/88$ درصد بود. Zimet و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی کارایی کپسولاسیون کمپلکس بتالاکتوگلوبولین- پکتین حاوی DHA این میزان را ۶۴ درصد مقدار DHA افزوده شده در نانوکپسول ها گزارش کردند و دریافتند که فعل

و انفصالات بین بار مثبت بتالاکتاتگلوبولین با بار منفی پکتین منجر به تشکیل نانوکمپلکس‌های پایدار محلول شده است.

میزان آزادسازی اسید چرب امگا ۳ از میکروامولسیون‌ها

با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که رهایش میکروامولسیون‌ها در مراحل مختلف دارای پروفایل‌های متفاوتی بوده ولی هر کدام از سه بخش اولیه که مرحله رهایش اولیه^۱، مرحله رهایش ثابت^۲ و مرحله دگرادسیون^۳ یا تخریب می‌باشد تشکیل شده است. در بین تیمارهای



زمان رهایش (دقیقه)

شکل ۲- رهایش تیمارهای میکروامولسیون حاوی امگا ۳

T1 = میکروامولسیون دارای ۴۰۰ میلی گرم امگا ۳

T2 = میکروامولسیون دارای ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳

T3 = میکروامولسیون دارای ۶۰۰ میلی گرم امگا ۳

T4 = میکروامولسیون دارای ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد می‌باشد.

و اجازه داده می‌شود تا ترکیب به دام‌افتاده رهاسازی شود. کنتیک رهایش امگا ۳ از میکروامولسیون‌ها در دو مرحله فرایند دوفازی توصیف می‌شود؛ مرحله اولیه شامل ترکیدن اولیه است که رهایش کند را در میکروامولسیون‌ها موجب می‌گردد. در غلظت‌های بالاتر امگا ۳ (میزان انباشت بالای ۵۰ درصد) حدود یک ساعت زمان لازم است تا این رهایش اولیه صورت پذیرد و در انباشت‌های با درصد کمتر و حضور امگا ۳ آزاد در محیط، فرایند به صورت یک مرحله‌ای در آمده است و با افزایش میزان به دام‌اندازی امگا ۳ میزان به دام‌اندازی و نهایتاً میزان

عوامل بسیاری بر میزان رهایش نانوذرات نیز موثر می‌باشد. بیشتر پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مورد استفاده در سیستم‌های میکروامولسیون‌ها به‌وسیله هیدرولیز، تخریب می‌شوند. هیدرولیز واکنشی میان مولکول‌های آب و پیوندهای موجود در زنجیره اصلی پلیمری است. به‌طور نمونه پیوندهای استری نمونه‌ای از این پیوندها است که با شکسته شدن متوالی آنها، زنجیره پلیمری به مونومرهای آن تبدیل می‌شود. همین‌طور که مولکول‌های آب پیوندهای شیمیایی را در طول زنجیره مولکولی می‌شکنند، پیوستگی فیزیکی پلیمر از بین می‌رود

کاهش میزان سطح به حجم میکروامولسیون شده و میزان رهایش را به طور معنی داری کاهش می دهد. در این راستا نیز تحقیقات مشابهی نیز وجود داشت. Prathyusha Rao و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی به دام اندازی بیکیسین در نانوذرات چربی جامد نیز به نتایج مشابهی در رابطه با سایز نانوذرات و همچنین قابلیت رهایش و به دام اندازی دست یافتند. آن ها دریافتند که افزایش میزان سایز نانوذرات میزان درصد رهایش را به طور معنی داری کاهش داد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی داشت.

عدد پراکسید

با توجه به شکل ۳ مشاهده می شود که در روز تولید تیمارهای کره پاستوریزه، اختلاف معنی داری بین میزان میانگین شاخص پراکسید تیمارها وجود نداشته اما در طی بازه های زمان نگهداری روند افزایشی معنی داری مشاهده شد به طوری که در انتهای ماه چهارم نگهداری، میزان میانگین شاخص پراکسید هر یک از تیمارهای کره نسبت به روز تولید از افزایش چشمگیری برخوردار بود ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان تغییرات در طی چهار ماه زمان نگهداری به کره شاهد و پس از آن نیز به تیمارهای کره پاستوریزه با مقادیر ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳ تعلق داشت ($p \leq 0.05$). تیمارهای T3 و T4 دارای حداقل میزان تغییرات شاخص عدد پراکسید در طی مدت چهار ماه نگهداری بودند ($p \leq 0.05$).

رهایش افزایش می یابد. یکی از عوامل موثر بر میزان رهایش میکروامولسیون ها سایز میکروامولسیون می باشد که با افزایش اندازه میکروامولسیون سطح تماس میکروامولسیون به طور موثری کاهش می یابد و می تواند باعث کاهش میزان آزادسازی ترکیبات به دام افتاده در درون میکروامولسیون شود. بنابراین با توجه به نتایج سایز میزان شاخص به دام اندازی به طور موثری تحت تاثیر قرار می گیرد به طوری که در دو تیمار T3 و T4 میزان به دام اندازی به طور معنی داری کمتر از تیمارهای دیگر می باشد. از طرفی میزان امگا ۳ به دام افتاده در داخل ترکیبات میکروامولسیون تعیین کننده میزان درصد رهایش میکروامولسیون می باشد. هرچه میزان کارایی کپسولاسیون بالاتر باشد میزان امگا ۳ بیشتری در درون میکروامولسیون برای رهایش وجود دارد. در این راستا برآیند این دو ترکیب بر روی کنتیک رهایش تاثیر می گذارد. نتایج تحقیقات Luo و همکاران (۲۰۱۱) نیز با یافته های تحقیق مطابقت داشت؛ بررسی های آنها نشان داد که رهایش آلفا توکوفرول از نانوذرات زئین-کیتوزان با سایز کوچکتر سریع تر صورت می گیرد. مرحله دوم فرایند دوفازی رهایش به مرحله ثابت معروف است که طی آن رهایش به صورت تجمعی ادامه می یابد تا فرایند رهایش به طور کامل تکمیل شود. حضور امگا ۳ آزاد در محیط سطحی میکروامولسیون در مقادیر بالا T3 و T4 و تجمع آن ها بر سطح میکروامولسیون، باعث برهم خوردن تعادل الکتروستاتیکی و گاهی حالت هایی شبیه به آگلومراسیون و تجمع ذرات به صورت خوشه ای و



شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص پراکسید تیمارهای کره پاستوریزه
 T0= تیمار کره پاستوریزه فاقد امگا ۳
 T1= تیمار کره پاستوریزه دارای ۴۰۰ میلی گرم امگا ۳
 T2= تیمار کره پاستوریزه دارای ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳
 T3= تیمار کره پاستوریزه دارای ۶۰۰ میلی گرم امگا ۳
 T4= تیمار کره پاستوریزه دارای ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳

می شود و شاخصی برای اندازه گیری میزان اکسیداسیون چربی است. عوامل مختلفی مانند نور، یون های فلزی و اکسیژن قادر به بالا

اندیس پراکسید به صورت میلی اکی والان پراکسید در ۱۰۰۰ گرم نمونه که یدید پتاسیم را تحت شرایط آزمون اکسید می کند بیان

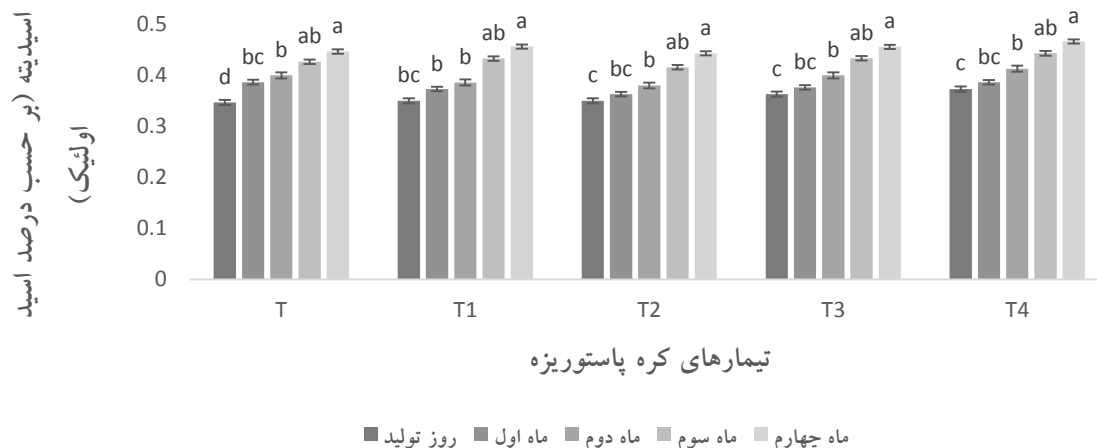
بردن اندیس پراکسید می‌باشند. بررسی نتایج شاخص پراکسید تیمارهای کره نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار شاخص پراکسید در کلیه تیمارهای کره طی مدت زمان نگهداری چهار ماه بود. چربی‌ها به‌عنوان ترکیبات آلی بر خلاف سایر مواد خوراکی کمتر متحمل فساد باکتریایی می‌شوند. اکثر آسیب‌ها هنگام فرآیند و نگهداری روغن نتیجه واکنش اکسیداسیون می‌باشد. اکسیداسیون به دو شکل آنزیمی و غیر آنزیمی رخ می‌دهد و نوع غیر آنزیمی به دو گروه اتواکسیداسیون و فتواکسیداسیون تقسیم می‌شود. ممانعت از واکنش اتواکسیداسیون به علت انرژی اکتیواسیون کم چندان ساده نیست و بر خلاف واکنش‌های آنزیمی با کاهش دما نمی‌توان از آن به راحتی جلوگیری کرد (Shahidi, 2005). از آنجا که هیدروپراکسیدها ترکیباتی بدون طعم و بو هستند، نمی‌توانند به‌وسیله مصرف‌کنندگان تشخیص داده شوند، ولی این ترکیبات باعث به وجود آمدن ترکیبات ثانویه مثل آلدهیدها و کتون‌ها می‌شوند که سبب تندشدن اکسیداسیونی می‌شود. میزان اولیه پراکسید حدود ۰/۵۴ میلی‌اکی والان گرم O₂ در کیلوگرم چربی بود که طی دوره نگهداری برای همه تیمارها افزایش یافت. این افزایش در کره شاهد شدت بیشتری داشت به‌طوری که بیشترین آن در ماه دوم نگهداری بود و پس از آن با تبدیل ترکیبات هیدروپراکسیدی به مالون آلدهید و تجزیه هیدروپراکسیدها به ترکیبات ثانویه، کاهش معنی‌داری در میزان ترکیبات هیدروپراکسیدی نیز مشاهده شد. در تیمارهای دارای میکرومولسیون‌های آلزینات سدیم/ پروتئین آب پنیر حاوی امگا۳ میزان شاخص پراکسید به میزان کمتری پایین‌تر از کره شاهد بود اما به‌طورکلی بین میزان میانگین شاخص پراکسید بین تیمارهای میکرومولسیون‌های حاوی امگا۳ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (p≤۰/۰۵). از دلایل مربوط به این تغییرات می‌توان به پوشش آلزینات سدیم میکرومولسیون‌ها اشاره کرد. از آنجایی که در مطالعات مختلف به اثرات آنتی‌اکسیدانی آلزینات سدیم اشاره شده است، حضور آلزینات سدیم با اثرات آنتی‌اکسیدانی و همچنین اثرات ضد میکروبی که می‌تواند از اکسیداسیون میکروبی نیز ممانعت کرده، روند اکسیداسیون را با تاخیر مواجه نموده و میزان عدد پراکسید طی دوره نگهداری با کاهش مواجه شود. مکانیسم عمل آنتی‌اکسیدانی آلزینات سدیم را می‌توان در حضور گروه‌های هیدروکسیل آزاد و توانایی آن‌ها جهت واکنش با هیدروژن‌های رادیکال ناشی از واکنش‌های زنجیری و اتواکسیداسیون دانست و از آن جایی که درصد آلزینات سدیم مورد استفاده در فرمولاسیون میکرومولسیون‌های به‌کار رفته در فرمولاسیون تیمارهای کره به میزان ثابتی بوده است از این رو استفاده از میکرومولسیون‌های تیمارهای T1 تا T4 اختلاف معنی‌داری را از نظر میانگین شاخص پراکسید بین تیمارهای کره ایجاد نکرد (p≤۰/۰۵). همچنین در مطالعات Hamzeh و Rezaei (۲۰۱۱) اثرات ضد اکسیداسیونی و ضد باکتریایی پوشش آلزینات سدیم به همراه اسانس آویشن بر فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نگهداری شده در یخچال نیز اشاره شده

است که وجود آلزینات سدیم می‌تواند به‌عنوان ترکیب آنتی‌اکسیدان نقش موثری در کاهش شاخص پراکسید داشته باشد که با یافته‌های تحقیق حاضر نیز در توافق بود. همچنین Namikhasmakhi و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثرات ضد اکسیداسیونی پوشش خوراکی آلزینات سدیم به همراه ویتامین C نشان داد که استفاده از آلزینات سدیم اثرات ضد اکسیداسیونی داشته که با یافته‌های تحقیق حاضر نیز در توافق بود. در مطالعات Taccone-Gallucci و همکاران (۲۰۰۶) نشان داده شده است که امگا ۳ از طریق جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی ممکن است اثرات ضد اکسایشی داشته باشد. Bahramizadeh و Rahmani Farah (۲۰۱۹) روش‌های مختلف غنی‌سازی برگر ماهی با روغن امگا-۳ ماهی ریزپوشانی شده به‌همراه عصاره‌های دارچین و رزماری را بر کیفیت و مدت ماندگاری آن بررسی نمودند و به کاهش میزان اکسیداسیون لیپیدی در تیمارهای ماهی ریزپوشانی شده اشاره نمودند که همراستا با تحقیق حاضر بود.

اسیدیته

با توجه به شکل ۴ اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کره پاستوریزه وجود داشت (p≤۰/۰۵). طی زمان نگهداری تا انتهای ماه چهارم میزان اسیدیته تیمارهای کره پاستوریزه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (p≤۰/۰۵). میزان شاخص اسیدیته در بین تیمارهای کره پاستوریزه با میزان ۶۰ و ۷۰۰ میلی‌گرم امگا۳ نیز بالاتر از تیمارهای کره پاستوریزه با مقادیر ۴۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم امگا۳ مشاهده شد (p≤۰/۰۵). کره پاستوریزه شاهد نیز روند افزایشی معنی‌داری را طی دوره نگهداری تا انتهای ماه چهارم نشان داد و به بالاترین میزان خود در انتهای مدت زمان نگهداری رسید (p≤۰/۰۵). بررسی نتایج ارزیابی اسیدیته تیمارهای کره نشان داد که طی زمان نگهداری چهارماه میزان شاخص اسیدیته افزایش معنی‌داری نشان داد (p≤۰/۰۵). افزایش اسیدیته می‌تواند به دلیل تندشدن هیدرولیتیک در تیمارهای کره طی زمان نگهداری باشد. همچنین طی زمان نگهداری به جهت افزایش میزان درصد رطوبت ماتریکس کره ناشی از تبادلات محیطی و همچنین به جهت افزایش میزان فعالیت آنزیم لیپاز و آزاد شدن اسید بوتیریک کره اسیدیته افزایش یافت. با توجه به این مساله که آلزینات سدیم خاصیت جذب رطوبت داشته و می‌تواند از افزایش رطوبت آزاد در ماتریکس کره و همچنین افزایش میزان فعالیت آنزیم لیپاز تا حدودی جلوگیری نماید، روند افزایشی اسیدیته در تیمارهای حاوی میکرومولسیون‌ها از میزان تغییرات اسیدیته در کره شاهد فاقد میکرومولسیون‌ها کمتر بود و از این رو با توجه به ثابت بودن نسبت آلزینات سدیم در فرمولاسیون تیمارهای میکرومولسیون‌ها اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشده و امگا ۳ موجود در فرمولاسیون تیمارهای کره تاثیر معنی‌داری بر شاخص اسیدیته تیمارهای کره نشان نداد. در این راستا تحقیقات مشابهی نیز وجود داشت. (Keramatjou et al., 2013) در بررسی اثر

کلسترول با استفاده از بتاسیکلودکسترین به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها دریافتند که با افزایش درصد استفاده از بتاسیکلودکسترین در فرمولاسیون کره و افزایش آب در دسترس و افزایش اکسیداسیون هیدرولیتیکی میزان اسیدیته تیمارهای کره پاستوریزه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که با نتایج تحقیق حاضر نیز مطابقت داشت.



شکل ۴- مقایسه میانگین شاخص اسیدیته تیمارهای کره پاستوریزه

T0= تیمار کره پاستوریزه فاقد امگا ۳

T1= تیمار کره پاستوریزه دارای ۴۰۰ میلی گرم امگا ۳

T2= تیمار کره پاستوریزه دارای ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳

T3= تیمار کره پاستوریزه دارای ۶۰۰ میلی گرم امگا ۳

T4= تیمار کره پاستوریزه دارای ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳

امتیاز طعم کاهش معنی‌داری نداشت اما در کره شاهد میزان این تغییرات حداکثری بوده و میزان افت امتیاز طعم با سایر تیمارها طی چهارماه زمان نگهداری مشهود بود. همچنین به دلیل پوشش‌دهی امگا ۳ توسط میکرومولسیون‌ها امتیاز طعم با افت معنی‌داری مواجه نبوده تنها در دو نسبت ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳ میزان امتیاز طعم به جهت افزایش میزان درصد آزادسازی کاهش نشان داد.

رنگ

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که اختلاف معنی‌داری بین میزان امتیاز رنگ ظاهری تیمارهای کره پاستوریزه در روز تولید وجود نداشته و تنها تیمار کره پاستوریزه دارای ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳ از نظر ارزیاب‌ها دارای اختلاف معنی‌داری تشخیص داده شد ($p \leq 0.05$). طی زمان نگهداری امتیاز رنگ ظاهری تیمارهای کره پاستوریزه با کاهش معنی‌داری مواجه شد به طوری که در انتهای ماه چهارم نگهداری امتیاز کره پاستوریزه شاهد به حداقل میزان رسید ($p \leq 0.05$). روند تغییرات کاهشی امتیاز رنگ ظاهری در کره شاهد با شدت بیشتری از تیمارهای کره پاستوریزه با مقادیر ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳ مشاهده شد

ارزیابی حسی

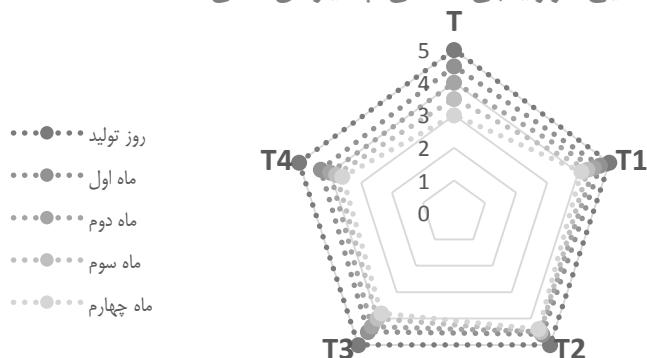
طعم

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که ارزیاب‌ها اختلاف معنی‌داری را بین طعم تیمارهای کره پاستوریزه در روز تولید مشاهده نمودند و تیمارهای کره پاستوریزه T3 و T4 در روز تولید به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارها و همچنین کره شاهد از مطلوبیت طعم کمتری برخوردار بودند ($p \leq 0.05$). تیمارهای T1 و T2 نسبت به کره شاهد از مطلوبیت حسی طعم بالاتری برخوردار بودند. نهایتاً ارزیاب‌ها تیمار کره پاستوریزه دارای ۴۰۰ میلی گرم امگا ۳ را به‌عنوان تیمار برتر طی زمان نگهداری چهار ماه انتخاب نمودند و کره شاهد نیز در انتهای ماه چهارم نگهداری از کمترین میزان مطلوبیت حسی طعم برخوردار بود. بررسی نتایج ارزیابی حسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میزان شاخص طعم تیمارهای کره در روز تولید وجود نداشت اما با افزایش مدت زمان نگهداری میزان شاخص طعم تیمارهای کره به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که به دلیل افزایش میزان اتواکسیداسیون چربی، تغییرات عدد پراکسید و همچنین میزان اسیدیته می‌باشد. با توجه به کمتر بودن تغییرات اسیدیته در تیمارهای کره غنی شده با میکرومولسیون‌ها میزان

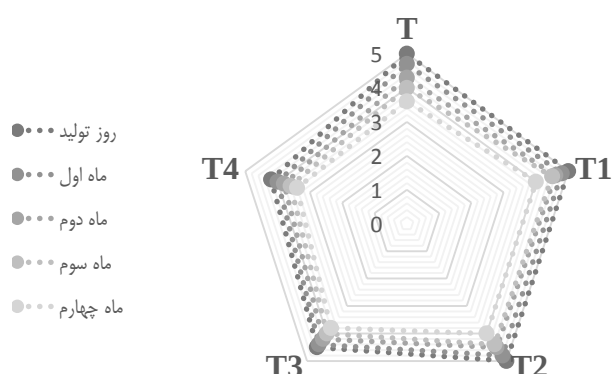
لیپیدی و همچنین اکسیداسیون بتاکاروتن موجود در کره با روز تولید اختلاف معنی داری را نشان داد. با توجه به کاهش میزان تغییرات در تیمار T2 نسبت به سایر تیمارها و همچنین بالاتر بودن میزان به دام اندازی امگا۳ در مقایسه با سایر تیمارها میزان کاهش مطلوبیت رنگ ظاهری در تیمارهای این کره کمتر به چشم خورد که به اثرات آلرینات سدیم نیز اشاره می کند.

($p \leq 0.05$). در انتهای ماه چهارم نگهداری تیمار T2 دارای بالاترین مطلوبیت رنگ ظاهری و کره شاهد و تیمار T4 دارای کمترین مطلوبیت رنگ ظاهری از نظر ارزیابها تشخیص داده شد ($p \leq 0.05$). رنگ ظاهری بین تیمارهای کره پاستوریزه در روز تولید اختلاف معنی داری نداشت به این جهت که میکروکپسولها پوشش دهی امگا۳ را انجام داده اند اما طی دوره زمان نگهداری با افزایش میزان اتوکسیداسیون

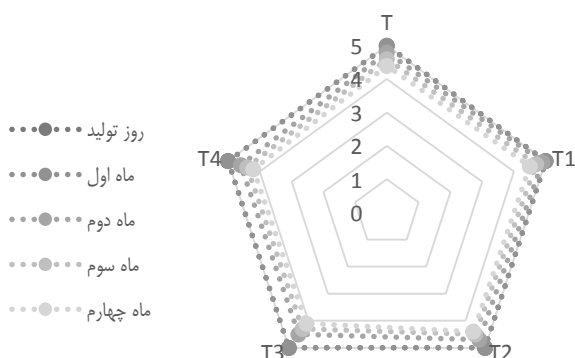
نتایج ارزیابی حسی پذیرش کلی



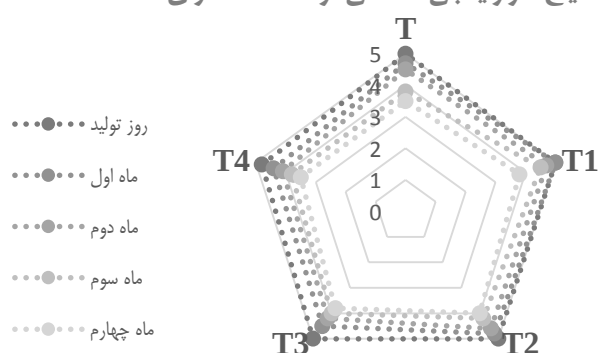
نتایج ارزیابی حسی شاخص طعم



نتایج ارزیابی حسی بوی و بو



نتایج ارزیابی حسی رنگ ظاهری



شکل ۵- مقایسه خصوصیات حسی تیمارهای کره پاستوریزه طی ۴ ماه نگهداری

T0= تیمار کره پاستوریزه فاقد امگا۳

T1= تیمار کره پاستوریزه دارای ۴۰۰ میلی گرم امگا۳

T2= تیمار کره پاستوریزه دارای ۵۰۰ میلی گرم امگا۳

T3= تیمار کره پاستوریزه دارای ۶۰۰ میلی گرم امگا۳

T4= تیمار کره پاستوریزه دارای ۷۰۰ میلی گرم امگا۳

عطر و بو

و بالاترین آن به تیمارهای دارای ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳ تعلق داشته و تیمارهای کره پاستوریزه با مقادیر ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳ در مراحل بعدی قرار داشتند. شاخص‌پذیرش کلی به معنای میزان مقبولیت کلی تیمارها از نظر مجموعه‌ای از خصوصیات حسی طعم، رنگ، عطر و بو می‌باشد. در این تحقیق تیمار T2 به دلیل دارا بودن بالاترین میزان به دام‌اندازی و سایز میکروکپسول کمتر و بهترین پروفایل رهایش دارای خصوصیات حسی بهتری بوده و کره شاهد طی زمان نگهداری چهارماه به کمترین میزان مطلوبیت رسید. تیمارهای T3 و T4 هم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند اما در انتهای ماه چهارم نگهداری امتیاز بالاتری از کره شاهد نشان دادند

نتیجه‌گیری

روغن ماهی عمده‌ترین منبع غذایی اسیدهای چرب غیراشباع با زنجیره طولانی است که اثرات سلامتی‌بخش بر بدن دارد. مطالعات نشان داده که مصرف محصولات غذایی غنی شده با روغن ماهی، مزایای بالقوه‌ای برای سلامتی، به‌ویژه محافظت در برابر بیماری‌های قلبی، سرطان و بهبود کارایی مغز دارد. در این تحقیق میکروامولسیون‌های امگا ۳ در غنی‌سازی کره اسپرید نیم‌چرب مورد استفاده قرار گرفتند. بر اساس نتایج تحقیق حاضر اندازه ذرات میکروامولسیون بین ۹۵ تا ۱۱۹ نانومتر بود. میزان به دام‌اندازی امگا ۳ بین ۶۵ تا ۷۹ درصد بود. نتایج نشان داد که شاخص پراکسید، اسیدیته و شاخص‌های حسی تیمارهای کره طی زمان نگهداری افزایش معنی‌داری تا انتهای ماه چهارم نگهداری نشان داد. کمترین میزان تغییرات شاخص‌های حسی و فیزیکی‌شیمیایی در مورد تیمار کره دارای میکروامولسیون‌های با ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳ مشاهده شد و بیشترین میزان تغییرات در کره پاستوریزه شاهد مشاهده شد. نهایتاً با توجه به نتایج ارزیابی شاخص‌های حسی و فیزیکی‌شیمیایی تیمار کره پاستوریزه نیم چرب اسپرید دارای ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳ به‌عنوان تیمار برتر انتخاب و معرفی شد.

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که اختلاف معنی‌داری در میزان امتیاز عطر و بو تیمارهای کره پاستوریزه در روز تولید وجود داشت ($p \leq 0.05$). با افزایش مدت زمان نگهداری میزان امتیاز عطر و بو تیمارهای کره کاهش معنی‌داری نشان داد ($p \leq 0.05$). کمترین میزان امتیاز عطر و بو تیمارهای کره به کره شاهد در ماه چهارم نگهداری و بالاترین آن به تیمارهای دارای ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم امگا ۳ تعلق داشته و تیمارهای کره پاستوریزه با مقادیر ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی گرم امگا ۳ در مراحل بعدی قرار داشتند. عطر و بو تیمارهای کره نیز به جهت ریزپوشانی شدن امگا ۳ با میکروامولسیون‌ها در روز تولید با کره شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان نداد اما طی دوره نگهداری کره به دلیل تغییرات اسیدیته و اکسیداسیون و افزایش اسید بوتیریک نیز با افت معنی‌داری در کره شاهد مواجه بود اما در تیمارهای کره دارای میکروامولسیون امگا ۳ میزان افت امتیاز به مراتب کمتر بود. با این وجود اکسیداسیون امگا ۳ در تیمارهای T3 و T4 باعث ایجاد ترکیبات و بوی نامطبوعی در کره پاستوریزه در طی نگهداری در تیمارهای کره پاستوریزه گردید. بنظر می‌رسد که ترکیبات امگا ۳ با استفاده از افزایش ۱ و ۲ سیکلولاسیون (مسیر اکسیداسیون شیمیایی اسید لینولئیک کوئزوگه) منجر به تولید ترکیبات آلدئیدی، استری و لاکتون‌ها در کره طی دوره نگهداری گردیده است. Horn و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که کیفیت حسی پنیر خامه‌ای غنی شده با روغن ماهی طی نگهداری به طور قابل توجهی تحت تاثیر اکسیداسیون قرار گرفته و کاهش یافته است که با نتایج تحقیق حاضر نیز مطابقت داشت.

پذیرش کلی

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که اختلاف معنی‌داری در میزان امتیاز پذیرش کلی تیمارهای کره پاستوریزه در روز تولید وجود داشت ($p \leq 0.05$). با افزایش مدت زمان نگهداری میزان امتیاز پذیرش کلی تیمارهای کره کاهش معنی‌داری نشان داد ($p \leq 0.05$). کمترین میزان امتیاز پذیرش کلی تیمارهای کره به کره شاهد در ماه چهارم نگهداری

منابع

- Ameli, M. & Nouri Golkhandan, V. (2011). Enrichment of cream cheese with omega-3 microencapsulation as a pragmatic food, the first national conference on food safety.
- Anon. (2008). Measurement of peroxide in edible oils and fats. Iranian Institute of Standards and Industrial Research, No. 4179.
- Anon. (2011). Measurement of acidity in edible fats and oils. Iranian Institute of Standards and Industrial Research, No. 4178.
- Ariaifar, M. & Zandi, P. (2007). Production of low cholesterol butter with application of beta-cyclodextrin. *Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 2 (3): 23-32.
- Bahramizadeh, I. & Rahmani Farah, K. (2019). The effects of different encapsulated omega-3 oil enrichment methods with Cinnamon and Rosemary extracts on fish burger quality and its shelf life. *Food Science and Technology*, 16(87): 87-102.

- Calligaris, S., Plazzotta, S., Bot, F., Grasselli, S., Malchiodi, A., Anese, M. (2016). Nanoemulsion preparation by combining high pressure homogenization and high power ultrasound at low energy densities. *Food Research International*, 83: 25-30.
- Chen, L. & Subirade, M. (2006). Alginate-whey protein granular microspheres as oral delivery vehicles for bioactive compounds. *Biomaterials*, 27(26): 4646-4654.
- Doherty, S.B., Gee, V.L., Ross, R.P., Stanton, C., Fitzgerald, G.F. & Brodtkorb, A. (2011). Development and characterisation of whey protein micro-beads as potential matrices for probiotic protection. *Food Hydrocolloids*, 25(6): 1604-1617.
- Djordjevic, D., McClements, D. J. & Decker, E.A. (2006). Oxidative Stability of Whey Protein- stabilized Oil- in- water Emulsions at pH 3: Potential ω - 3 Fatty Acid Delivery Systems. *Journal of Food Science*, 69(5): 356-362.
- Esfahani, R., Jafarpour, S. A., Jafari, S.M., (2018). Color, moisture and microstructure properties of omega-3 nanocapsules produced using coagulation technique. *Journal of Food Science and Technology*, 81(5):20-27.
- Hamzeh, A. & Rezaei M. (2011). Antioxidant and antibacterial effects of sodium alginate coating enriched with thyme essential oil on rainbow trout fillet during refrigerated storage. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 6(3): 11-20.
- Horn, A.F., Green-Petersen, D., Nielsen, N.S., Andersen, U., Hyldig, G., Jensen, L.H.S., Horsewell, A. & Jacobsen, C. (2012). Addition of fish oil to cream cheese affects lipid oxidation, sensory stability. *Agriculture*, 2: 359-375.
- Ilyasoglu, H. & Sedef Nehir, E. (2014). Nanoencapsulation of EPA/DHA with sodium caseinate-gum arabic complex and its usage in the enrichment of fruit juice. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2): 461-468.
- Jafarpour, S.A., Esfahani, R., Jafari, S.M., (2016). Efficiency evaluation of nanoencapsulation of omega-3 fatty acids with gelatin-Arabic gum complex using coaservation technique. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 25 (2): 29-42.
- Keramat Jou, E., Hesari, J., Azadmard Damirchi, S., Peighambaroust, S.H., Nemati, M., (2013). Antioxidant effect of olive leaf extract on stability of butter. *Journal of Food Processing and Preservation*, 5(1): 81-94.
- Kolanowski, W. & Weibbrodt, J. (2007). Sensory quality of dairy products fortified with fish oil. *International Dairy Journal*, 17(10): 1248-1253.
- Luo, Y., Zhang, B., Whent, M., Yu, L. & Wang, Q. (2011). Preparation and characterization of zein/chitosan complex for encapsulation of α -tocopherol, and it's in vitro controlled release study. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 85(2):145-152.
- Mi, F.A., Shyu, S.S., Lee, S.T. & Wong, T.B. (1999). Kinetic study of chitosan tripolyphosphate complex reaction and acid-resistive properties of the chitosan tripolyphosphate gel beads prepared by in liquid curing method. *Journal of Polymer Science*, 37(14):1551-1564.
- Nami E., Zakipour Rahimabadi, E. & Kanipour, A.A. (2016). Effect of antioxidant sodium alginate edible coatings containing vitamin C on rainbow trout fillets during refrigerated storage *Journal of Fisheries Science and Technology*, 5(3): 137-149.
- Poncellet, D., Lencki, R., Beaulieu, C., Halle, J.P., Neufeld, R.J. & Fournier, A. (1992). Production of alginate beads by emulsification/internal gelation. *Applied Microbiology and Biotechnology*; 38:39-45.
- Prathyusha Rao, M., Manjunath, K., Bhagawati, S.T. & Thippeswamy, B.S. (2014). Bixin loaded solid lipid nanoparticles for enhanced hepatoprotection--preparation, characterisation and in vivo evaluation. *International Journal of Pharmaceutics*, 473(1-2): 485-492.
- Peniche, C., Howland, I., Carrillo, O., Zaldívar, C. & Argüelles-Monal, W. (2004). Formation and stability of shark liver oil loaded chitosan/calcium alginate capsules. *Food Hydrocolloids*, 18(5): 865-871.
- Rastmanesh, R. (2008). Micronutrient fortification of foods. Agricultural Sciences Publication.
- Rodriguez-Garcia, J., Laguna, L., Puig, A., Salvador, A. & Hernando, I. (2013). Effect of Fat Replacement by Inulin on Textural and Structural Properties of Short Dough Biscuits. *Food and Bioprocess Technology*; 6(10): 2739-2750.
- Roller, S. & Jones, S.A. (1996). Handbook of Fat Replacers. CRC Press, P.1-62.
- Subongkot, T. & Ngawhirunpat, T. (2017). Development of a novel microemulsion for oral absorption enhancement of all-trans retinoic acid. *International Journal of Nanomedicine*, 3(12):5585-5599.
- Shahidi, F. (2005). Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. 1, 4th edn. John Wiley & Sons, New York.
- Taccone-Gallucci, M., Manca-di-Villahermosa, S., Battistini, L., Stuffer, R.G., Tedesco, M. & Maccarrone, M. (2006). N-3 PUFAs reduce oxidative stress in ESRD patients on maintenance HD by inhibiting 5-lipoxygenase activity. *Kidney Int.*, 69(8):1450-1454.
- Umesha, S.S., Manohar, R., Sai, A.R., Indiramma, S., Akshitha, K. & Akhilender, N. (2015). Enrichment of biscuits with microencapsulated omega-3 fatty acid (Alpha-linolenic acid) rich Garden cress (*Lepidium sativum*) seed oil: Physical, sensory and storage quality characteristics of biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1):654-661.
- Yousefi, H., Soleimanzad, P. & Shahedi Bagh-e Khandan, M. (2017) Microcoating of probiotics by emulsion method in the production of probiotic bread. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 11(4): 99-106.
- Zimet, P. & Livney, Y.D. (2009). Beta-lactoglobulin and its nanocomplexes with pectin as vehicles for omega 3 polyunsaturated fatty acids. *Food Hydrocolloids*; 23:1120-1126.



Preparation and formulation of functional half-Fat spread butter with micro-emulsions containing omega-3

Sh. Mirehsanpazir¹, M. Gharachorloo^{2*}, Gh. Asadi³

Received: 2020.08.13

Accepted: 2020.10.15

Introduction: Today, in developed countries, where there is a deep dependence on processed foods, food fortification has played a major role in the health of these communities over the past 40 years and has led to the eradication of malnutrition in these countries. Omega-3 is a type of unsaturated fatty acid that is composed of a carboxyl group (COOH) and a carbon chain with several double bonds. Clinical trials have shown that omega-3 deficiency can increase the risk of diseases such as mood problems and anxiety, psychosis, attention deficit disorders, obsessive-compulsive disorder, personality disorders, depression, dementia and autism. In fact fatty acids have a protective effect against psychiatric disorders, especially in people at high risk. The use of fatty acid compounds directly in food enrichment causes problems such as autoxidation, malnutrition, reduced bioavailability as well as instability against light and heat, which has led to the use of various techniques to encapsulate. Microencapsulation is the process of employing a carrier for sensitive microorganisms and compounds with high instability as well as high cost to protect the external environment, thus reducing cell damage. Natural polymers are based on available materials for their biodegradability, food compatibility and viability of controlled transmission systems. The structure of emulsions consists of scattered droplets of one liquid (suspended phase or internal phase) in another liquid (continuous phase or external phase). Emulsions with a particle diameter of nanometers and, according to most authors, a maximum of 500 nanometers are called microemulsions. There are different techniques for producing microemulsions, each of which produces microemulsions with different properties, and each has advantages and disadvantages. In this study, semi-fat spread butter was prepared with omega-3 microemulsion.

Materials and Methods: The aim of this study was fortification of half-fat spread butter with microemulsion containing omega-3 based on emulsification/ gelation microemulsification method. Microemulsions were prepared according to the method of (Chen and Subirade, 2006) with some modifications. From each of the microemulsions containing omega 3 with concentrations of 400, 500, 600 and 700 mg of omega 3, 10 mg per 100 g of butter sample was added and rubbed until a homogeneous mixture was obtained and stirred thoroughly. After that, the product was packaged at a maximum temperature of 16 ° C and transferred to a refrigerator below zero (-18) ° C, and then evaluated at the time production day and the first, second, third and fourth months. Evaluation of size, polydispersity index of microemulsions morphological characteristics, omega-3 trapping rate in microemulsion and omega-3 release rate on the basis of the method (Chen and Subirade, 2006) was done. The amount of peroxide was measured idiomatically - the end point was determined visually according to National Standard No, 4179. Butter acidity was done by titration method according to National Standard No, 4178. Sensory characteristics such as taste, color, odor and general acceptance were assessed using 15 trained evaluators based on a 5-point hedonic test. Results were analyzed with analysis variance and ($\alpha = 0.05$) with software SPSS version 22. Results demonstrated that the average size of microemulsion was between 95 -119 nm. The loading efficacy of omega 3 was between 65-79%.

Results and Discussion: Fish oil is the main food source of long-chain unsaturated fatty acids that have healing effects on the body. Studies have shown that eating fish oil-fortified foods has potential health benefits, especially protection against heart disease, cancer and improved brain function. In this study, omega-3 microemulsions were used to enrich half-fat spread butter. According to the results of the present study, the particle size of the microemulsion was between 95 and 119 nanometers. The omega-3 trapping rate was between 65 and 79 percent. The results showed that peroxide, acidity and sensory indexes of butter treatments during storage showed a significant increase until the end of the fourth month of storage. The least amount of changes in sensory and physicochemical indices were observed in the treatment of butter with microemulsions with 500 mg omega 3 and the highest amount of changes was observed in the pasteurized

1. MSc Graduated, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2 Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3 Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(*Corresponding Author Email: Gharachorloo.m@gmail.com)

control butter. Finally, the treatment of pasteurized semi-fat spread butter with 500 mg of omega 3 was selected and introduced as the optimal treatment.

Keywords: pasteurized half-butter, whey protein/alginate microemulsion, omega 3, fortification



مقاله پژوهشی

کاربرد ترکیبات هیدروکلوئیدی (زانتان و کربوکسی متیل سلولز) در فرمولاسیون دونات با هدف کاهش جذب روغن

حسن صباغی*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱

چکیده

کاربرد افزودنی‌ها به‌ویژه ترکیبات هیدروکلوئیدی در کاهش جذب روغن در دونات یک روش کاربردی است؛ زیرا نیاز به ایجاد تغییرات در طراحی صنعتی تجهیزات نمی‌باشد. بنابراین، در این پژوهش تأثیر صمغ زانتان و کربوکسی متیل سلولز در خصوصیات کیفی دونات با هدف کاهش جذب روغن مطالعه شد. برای این منظور، در فرمولاسیون خمیر دونات از صمغ‌های زانتان، کربوکسی متیل سلولز و نسبت ترکیبی این دو صمغ (۵۰:۵۰) به میزان ۰/۵ و ۱/۵ درصد براساس وزن ماده خشک خمیر استفاده شد. خمیر دونات آماده شد و قالب‌گیری انجام گرفت. تخمیر در شرایط مشابه صنعتی (دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۰ درصد) به مدت ۳۰ دقیقه صورت پذیرفت. سپس به ترتیب فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، قرار دادن آیسینگ و بسته‌بندی انجام شد. محتوی رطوبت خمیر و دونات، جذب روغن دونات، دانسیته، رنگ و نسبت تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین، خصوصیات کیفی ماندگاری شامل ارزیابی نرمی بافت، عدم جذب آیسینگ و عدم رشد کپک طی ۱۴ روز بررسی گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد ($p < 0.05$). نتایج نشان داد که، رطوبت نمونه‌ها با افزایش درصد ترکیبات هیدروکلوئیدی همواره افزایش یافت. جذب روغن با افزایش درصد صمغ کاهش یافت و کمترین محتوی روغن در نمونه‌های حاوی میزان ۱/۵ درصد صمغ زانتان مشاهده شد (محتوی روغن برابر با ۰/۱۷۴ گرم روغن بر گرم ماده خشک). برخلاف زانتان، با افزایش درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز دانسیته کاهش یافت و بیشترین دانسیته معادل با ۰/۶۱۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که در میزان ۱/۵ درصد صمغ زانتان مشاهده شد. بنابراین بیشترین تخلخل و نرمی بافت نیز در نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز با توجه به افزایش حجم یافت شد. عدم جذب آیسینگ در نمونه‌های حاوی زانتان کمتر بود. رشد کپک در هیچ تیماری مشاهده نشد. در مجموع، بهترین نسبت افزودنی صمغ زانتان از نظر کاهش جذب روغن، کاربرد آن به میزان ۰/۵ درصد بود. زانتان به دلیل خصوصیات تشکیل ژل حرارتی و غلیظ شونده‌گی بیشترین کاهش جذب روغن را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: جذب روغن، دونات، سرخ کردن، زانتان، کربوکسی متیل سلولز.

مقدمه

هستند. دونات‌ها در دو نوع عمده وجود دارند: خمیرمایه^۳ مخمری و خمیرمایه شیمیایی. دونات‌هایی با خمیرمایه شیمیایی به نام دونات کیکی^۴ نیز شناخته می‌شوند. دونات‌های با خمیرمایه مخمری روغن بیشتری در مقایسه با دونات‌های خمیرمایه شیمیایی جذب می‌کنند، که علت آن سرخ شدن در مدت زمان طولانی‌تر می‌باشد. اگرچه لازم به ذکر است که روغن افزودنی نیز در خمیر دونات‌های شیمیایی وجود دارد (Shih et al., 2001). ساده‌ترین و مناسب‌ترین روش برای کاهش جذب روغن در دونات استفاده از افزودنی‌ها است؛ زیرا نیازمند تغییرات در طراحی تجهیزات نمی‌باشد (Priya et al., 1996). استفاده از برخی ترکیبات هیدروکلوئیدی به‌عنوان افزودنی خشک، یک روش کاربردی مناسب برای کاهش جذب روغن و حفظ رطوبت

یکی از مهمترین خصوصیات کیفی محصولات سرخ‌کردنی به‌ویژه دونات جذب روغن آن می‌باشد. امروزه با رشد آگاهی مصرف‌کنندگان تقاضا برای غذاهای سالم و کم‌چرب افزایش یافته است (Dueik et al., 2010)؛ زیرا مصرف بیش از حد چربی منجر به افزایش کلسترول خون می‌شود و در نتیجه منجر به بیماری‌های متعددی مانند افزایش فشار خون، بیماری‌های قلبی عروقی و چاقی می‌گردد (Lee et al., 2008). دونات‌ها در بسیاری از کشورها مورد توجه مصرف‌کنندگان هستند و با پوسته بیرونی ترد به رنگ قهوه‌ای-طلایی^۲ و هسته کیک مانند شناخته می‌شوند (Nsabimana et al., 2018). دونات‌های تجاری حاصل از آرد گندم به طور معمول حاوی ۲۴ تا ۲۶ درصد روغن

محصول تغییر می‌نماید و مغز محصول سفت و جذب آب کاهش می‌یابد (Bennion and Bamford, 1997). Funami و همکاران (۱۹۹۹) کاهش جذب روغن طی سرخ کردن در دونات را با استفاده از کوردلان بررسی کردند. کوردلان پلیمری خطی نامحلول در آب با وزن مولکولی بالا و تشکیل یافته از گلوکز است که با پیوند بتا-۱ به ۳-گلوکان ایجاد شده است. این ترکیب به نسبت صفر تا یک درصد وزنی-وزنی افزوده شد و تاثیر آن با مشتقات سلولز مقایسه گردید. نتایج نشان داد که اثر کوردلان در کاهش جذب روغن نسبت به مشتقات سلولز بیشتر است که این امر به دلیل خصوصیات ژلی شدن حرارتی (ایجاد ژل پایدار حتی در شرایط حرارت‌دهی شدید) آن است که به عنوان مانع رطوبت و روغن عمل می‌نماید و ژل کوردلان در دونات می‌تواند اثر پلاستیسیته مشابه چرب‌مایه^۴ داشته باشد. Shih و همکاران (۲۰۰۱) دونات با روغن کم با استفاده از فرمولاسیون توسعه دادند. جایگزینی آرد گندم با آرد برنج مومی^۵ یا دانه بلند (به عبارتی آرد برنج صدمه‌ندیده) موجب کاهش مقاومت خمیر و محتوی رطوبت و افزایش جذب روغن و سفتی شد. جایگزینی با آرد برنج دانه بلند ژلاتینه‌شده (پیش پخته‌شده) یا نشاسته برنج استیل‌شده (به عبارتی آرد یا نشاسته اصلاح‌شده) موجب مقاومت خمیر، رطوبت و سفتی بیشتر و جذب روغن کمتر شد. دونات‌های فرموله‌شده با آرد گندم و ۵۰ درصد آرد برنج ژلاتینه‌شده در مقایسه با دونات‌های گندم از نظر خصوصیات کلی برابری داشتند اما تا حد ۶۴ درصد جذب روغن کمتری نشان دادند. اثر کاهش روغن آرد یا نشاسته اصلاح‌شده به این واقعیت ارتباط دارد که این افزودنی‌ها دارای ظرفیت نگهداری آب بالایی می‌باشند و به آب اضافی جهت حفظ مقاومت خمیر و سفتی در دونات مورد نیاز است. آب اضافی مورد استفاده موجب محتوی رطوبت بیشتر و جذب روغن کمتر خواهد شد.

Sakhale و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر هیدروکلوئیدهایی مانند کربوکسی متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، صمغ زانتان و صمغ گوار را روی کاهش جذب روغن سنبوسه^۶ بررسی کردند. این هیدروکلوئیدها به آرد گندم در سنبوسه به نسبت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد برحسب وزن خشک اضافه شدند و آزمون‌های فیزیکوشیمیایی و ارزیابی حسی نیز انجام شد. نتایج نشان داد که صمغ زانتان در میزان ۱/۵ درصد به میزان قابل توجهی نسبت به سایر هیدروکلوئیدها محتوی روغن را کاهش می‌دهد (۸/۵۶ درصد). همچنین صمغ زانتان به همراه کربوکسی متیل سلولز نیز به طور معنی‌داری جذب روغن را کاهش داد (۹/۳۸ درصد). با افزایش میزان هیدروکلوئیدها نیز جذب روغن به طور معنی‌داری کاهش یافت. حضور صمغ زانتان موجب بهبود خصوصیات کیفی و ارزیابی حسی نیز شد.

محصول در هنگام سرخ کردن به دلیل خصوصیات تشکیل ژل حرارتی^۱ و غلیظ شوندگی^۲ (ایجاد تراکم منظم ساختاری) می‌باشد (Funami et al., 1999; Varela and Fiszman, 2011). حفظ رطوبت یا کنترل نحوه خروج آب از محصول روی مکانیسم‌های حرارتی نیز موثر است (Sabbaghi et al., 2014). سازمان غذا و دارو ایالات متحده آمریکا در رابطه با صمغ‌ها، این ترکیبات را به عنوان افزودنی غذایی یا به طور کلی جزء ترکیبات شناخته شده ایمن^۳ (GRAS) طبقه‌بندی کرده است. اگرچه معمولاً میزان مورد استفاده از این ترکیبات جهت دستیابی به خصوصیات مطلوب در سیستم‌های غذایی کمتر از ۲ درصد است (Rodge et al., 2012). وقتی این ترکیبات به خمیر اضافه می‌شوند در اسرع وقت ژل تشکیل می‌دهند که ظرفیت بالایی را در احتباس آب در هنگام تماس با روغن داغ دارا است و این امر در حفظ و کنترل رطوبت خمیر و جلوگیری از نفوذ روغن موثر خواهد بود (Sahin et al., 2005). کنترل خروج رطوبت از محصول موجب کاهش نرخ مهاجرت رطوبت و ترکیبات از ماده غذایی به داخل روغن سرخ‌کردنی می‌شود و واکنش‌های پراکسیداسیون بعدی در روغن مصرفی نیز کاهش می‌یابد، در نتیجه عمر مفید روغن افزایش خواهد یافت (Blumenthal, 1991; Dobarganes et al., 2000; Blumenthal, 2001). هیدروکلوئیدها با کنترل جذب آب موجب بهبود رئولوژی خمیر، بهبود زمان ماندگاری به واسطه حفظ محتوی رطوبت و به تأخیر انداختن بیاتی در محصولات آردی با کاهش رتروگراسیون نشاسته و جلوگیری از سفت شدن بافت داخلی می‌گردند (Kohajdová and Karovičová, 2009; Kohajdová et al., 2009). ماندگاری محصولات غذایی از خصوصیات مهم تجاری محسوب می‌گردد. در تمام کشورها تقاضای بازار در حال تغییر است و همراه با این مسئله، نگرانی‌های عمومی خریداران، دولت‌ها و تولیدکنندگان در رابطه با ایمنی و سلامت خوراکی‌ها حین نگهداری افزایش یافته است. اگر یک محصول ماندگاری طولانی مدت داشته باشد نیاز کمتری به ارائه مکرر آن محصول به زنجیره خرده فروشی وجود دارد. زمان ماندگاری محصولات نانوائی به طور کلی توسط دو عامل اصلی فساد میکروبی و بیاتی محدود می‌شود. این محصولات پس از پخت عاری از کپک‌ها و باکتری‌های زنده هستند اما به دلیل داشتن رطوبت و pH مناسب محیط خوبی برای رشد کپک به شمار می‌روند. پس از پخت تغییرات فیزیکوشیمیایی مختلفی در محصولات نانوائی اتفاق می‌افتد که منجر به بروز تغییرات در پوسته و بافت داخلی می‌شود که به آن بیاتی یا کهنگی می‌گویند. در طی فرایند بیاتی، ویژگی‌های کیفی محصول از قبیل بو، طعم، مزه و قابلیت جویدن

۴ Shortening

۵ Waxy rice flour

۶ Samosa

1 Thermal gelling

2 Thickening

3 Generally recognized as safe

حذف روغن سطحی) پس از سرخ کردن وجود خواهد داشت که این امر تأیید کننده اهمیت جذب روغن در مرحله سرد کردن و طبیعت سطحی پدیده جذب روغن است. این مطالعه نشان داد که خصوصیات ساختاری محصول ممکن است کاربرد مناسبی با ایجاد بلاک‌های ساختمانی در غذا (در اینجا نشاسته ذرت پیش ژلاتینه‌شده) در یک سیستم در هم گسیخته غذایی (خمیر با محتوی فیبر بالا) با تأثیر بر پدیده‌های انتقال جرم داشته باشد و موجب تولید محصولی مطابق با سلامت روز گردد. Kwindia و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر سبوس جو دوسر و فیبر غلاف بارهنگ کتان^۲ روی کاهش روغن و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماگواینیا^۴ (خمیر سرخ‌شده بر پایه غلات) را بررسی نمودند. دو روش سنتی و اصلاح‌شده فرآوری این محصول با هم مقایسه شدند. استفاده از این افزودنی‌ها میزان جذب روغن را در روش اصلاح‌شده نسبت به روش سنتی به طور معنی‌داری کاهش داد. سبوس جو دوسر و فیبر غلاف بارهنگ کتان^۲ به ترتیب ۳ و ۲ درصد خصوصیات بافتی را بهبود بخشیدند.

Kante-Traore و همکاران (۲۰۱۸) دو فرمولاسیون مختلف دونات مانگو و روش فرآوری را بررسی نمودند. فرمولاسیون پالپ مانگو در ترکیب با آرد رنج و ذرت بررسی شد. هر دو فرمولاسیون با دو روش خمیر غوطه‌ور در روغن^۴ و خمیر روی صفحه داغ^۵ تحت شرایط کنترل‌شده فرآوری شدند. نتایج نشان داد که محتوی رطوبت دونات‌های مانگو با استفاده از سرخ‌کن عمیق که شامل ذرت یا آرد برنج بودند به میزان معنی‌داری کمتر از فرمولاسیون‌های یکسان با استفاده از کریپ میکس بود. بالاترین محتوی چربی برای دونات حاوی آرد برنج و آرد ذرت به ترتیب برابر با ۲۵/۳۴ و ۲۹/۷۸ درصد بود. محتوی بتا-کاروتن دونات‌های فرآوری شده با روش خمیر روی صفحه داغ به‌طور معنی‌داری بالاتر از دونات‌های سرخ‌شده با روش غوطه‌وری در روغن بود.

پژوهش‌های انجام‌شده کمتر به محصولات صنعتی و تجاری‌شده با یک فرمولاسیون بومی پرداختند. بنابراین در این پژوهش کاربرد هیدروکلونیدهای زانتان و کربوکسی متیل سلولز به صورت مجزا و ترکیبی در کاهش جذب روغن دونات به نحوی که از نظر اقتصادی در صنعت قابل اجرا باشد، امکان‌سنجی گردید. همچنین خصوصیات فیزیکی شامل دانسیته و حجم، نسبت تخلخل و رنگ دونات نیز تحت تأثیر فرمولاسیون‌های مورد آزمون بررسی شد. در نهایت ماندگاری محصول دونات براساس معیارهای صنعتی از نظر نرمی بافت، رشد کپک و نگهداری آیسینگ ارزیابی شد.

Lim و همکاران (۲۰۱۲) از پلی‌گاماگلوتامیک اسید^۱ جهت کاهش جذب روغن در دونات استفاده کردند. پلی‌گاماگلوتامیک اسید یک ترکیب آنیونی منحصر به فرد و بیوپلیمر خوراکی فاقد مزه است که از واحدهای D- و L- گلوتامیک اسید تشکیل شده است. برخلاف پروتئین‌ها، این ترکیب دارای پیوندهای آمیدی میان آلفا-آمینو و گاما کربوکسیلیک اسید است. خواص اتصال آبی عالی و فعالیت بیولوژیکی این ترکیب در کاهش جذب روغن در محصولات سرخ‌شده قابل بررسی است. از نظر بهبود خصوصیات سلامت نیز حضور این ترکیب در سیستم‌های غذایی موجب بهبود جذب کلسیم و بهبود پاسخ‌های سیستم ایمنی بدن خواهد شد. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش میزان پلی‌گاماگلوتامیک اسید از ۰/۲۵ تا ۱ گرم به ازای ۱۰۰ گرم خمیر؛ جذب روغن در محصول تا پنج برابر کاهش یافت. تصاویر میکروسکوپی تهیه شده از دونات‌های حاوی ۱ گرم گاماگلوتامیک اسید حفرات کمتر و ماتریکس متراکم‌تری را نشان داد و تمامیت ساختاری آن بهبود یافته بود و همچنین نتایج ارزیابی حسی مطلوبی نیز نشان داد.

Melito و Farkas (۲۰۱۳) جذب روغن و خصوصیات فیزیکوشیمیایی دونات فاقد گلوتن را با دونات معمولی مقایسه نمودند. نتایج نشان داد محتوی چربی در اغلب دونات‌های فاقد گلوتن (۳۲/۲-۲۶/۳ درصد) نسبت به دونات گندم (۳۳/۷ درصد) به میزان معنی‌داری کمتر است. اگرچه هیچ یک از فرمولاسیون‌های فاقد گلوتن پذیرش حسی مشابه دونات گندم را نشان ندادند. نسبت بالاتر آرد تجاری فاقد گلوتن به آرد برنج (نسبت ۳ به ۱) در مقایسه با نسبت پایین‌تر (نسبت ۱ به ۱) موجب محتوی چربی بالاتر و خصوصیات مکانیکی نزدیک‌تر به دونات گندم شد.

Dueik و همکاران (۲۰۱۴) توسعه ماتریکس‌های نشاسته‌ای و گلوتنی سرخ‌شده کم چرب با محتوی فیبر بالا را انجام دادند. این ماتریکس شامل گلوتن و نشاسته گندم بود و نشاسته به تدریج با سبوس گندم جایگزین گردید و عدم تشکیل ساختار نیز با جایگزینی تدریجی نشاسته با نشاسته ذرت پیش‌ژلاتینه‌شده برطرف شد. نمونه‌ها در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. نتایج نشان داد که امکان تشکیل ساختار مناسب و کافی در خمیر احاطه شده با نشاسته-گلوتن با محتوی سبوس گندم بالا طی سرخ کردن از طریق افزودن نشاسته ذرت پیش‌ژلاتینه‌شده وجود دارد و ۳۵ درصد جذب روغن کمتر در مقایسه با نمونه شاهد (خمیر احاطه شده با نشاسته-گلوتن) حتی زمانی که سبوس گندم در ماتریکس زیاد شود؛ وجود خواهد داشت. همچنین امکان تولید محصول کم چرب با محتوی فیبر بالا با استفاده از مرحله سانتریفیوژ (استفاده از نیروی گریز از مرکز پس از سرخ کردن با هدف

4 Gas-fueled fritter

5 Crepe maker

1 Poly-γ-glutamic acid (γ-PGA)

2 Psyllium husk fibre

3 Magwinya

مواد و روش‌ها

تهیه خمیر دونات

فرمولاسیون صنعتی تهیه خمیر دونات مطابق با صباغی (۲۰۲۱) بر اساس جدول ۱ در نظر گرفته شد. تعداد دونات مورد نیاز ۲۰ عدد بود و بر همین اساس نسبت‌ها برای تهیه ۲۰۰۰ گرم خمیر محاسبه گردید. ابتدا، ماده خشک خمیر با قرار دادن نمونه خمیر معمول در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت محاسبه شد و درصد مواد جامد خمیر برابر با $68/163 \pm 0/089$ درصد بود. بنابراین با توجه به اینکه وزن ماده خشک موجود در ۲۰۰۰ گرم خمیر برابر با حدود $1363/26$ گرم

است، مطابق Sakhale و همکاران (۲۰۱۱) در این فرمولاسیون صمغ زانتان، کربوکسی متیل سلولز و صمغ ترکیبی زانتان و کربوکسی متیل سلولز (به نسبت ۵۰:۵۰) به میزان صفر، ۱ و ۱/۵ درصد براساس وزن ماده خشک خمیر افزوده گردید که به ترتیب برابر با صفر، $6/816$ و $13/632$ و $20/448$ گرم بود. در پیش‌آزمون مشخص شد که میزان آب در فرمولاسیون شاهد (فاقد صمغ) بایستی $12/5$ گرم بیشتر از حد تئوری مقیاس صنعتی یعنی برابر با $458/859$ گرم باشد تا خمیر مناسبی را در مقیاس آزمایشگاهی به‌دست دهد.

جدول ۱- فرمولاسیون معمول دونات

ردیف	ترکیب	مقدار مصرف (گرم)
۱	تخم‌مرغ کامل هم‌زده	۴۰/۸۳۹
۲	آرد گندم	۱۲۳۴
۳	شکر	۱۳۸/۵۲۵
۴	خمیر مایه تر	۲۹/۱۶۱
۵	نمک طعام	۶/۵۳۲
۶	اسید سیتریک خوراکی خشک	۰/۶۱۶
۷	پروپیلن گلاکول	۱۶/۱۲۱
۸	بهبوددهنده و ژل دونات	۲۶/۹۶۸
۹	آب آشامیدنی	$446/359 + 12/5$
۱۰	روغن جامد آفتاب	۶۰/۸۷۹
	مجموع (گرم)	$2000 + 12/5$

جدول ۲- مقدار آب مازاد و زمان هم‌زدن برای فرمولاسیون‌های حاوی صمغ

صمغ	درصد صمغ	مقدار آب مازاد (گرم)	زمان هم‌زدن (دقیقه)
شاهد (فاقد صمغ)	-	صفر	۱۰
کربوکسی متیل سلولز	۰/۵	۶	۱۰
	۱	۱۴	۱۰
	۱/۵	$42/6$	۱۵
زانتان	۰/۵	$40/3$	۱۰
	۱	۶۱	۱۵
	۱/۵	۸۳	۲۰
زانتان+کربوکسی متیل سلولز	۰/۵	۸	۱۰
(۵۰:۵۰)	۱	۱۸	۱۴
	۱/۵	$31/1$	۱۵

تهیه خمیر دونات

برای مخلوط کردن نهایی و تولید خمیر مطابق با صباغی (۲۰۲۱) از هم‌زن نیمه صنعتی (مدل: Xuzhong MACS Advertises Dough Mixer-Model Number: szm20) استفاده شد. کفایت این

مرحله با توجه به شکل کشسانی خمیر در نظر گرفته شد که بایستی کشش‌پذیری مناسبی تا ایجاد یک لایه نازک خمیر را داشته باشد. بدین منظور مقدار آب اضافی در خمیر حاوی صمغ (مازاد بر $458/859$ گرم) و مدت زمان هم‌زدن اهمیت دارد که به صورت پیش‌آزمون برا

عکس راندمان سرخ کردن

از آن جا که معیار جذب روغن در صنعت؛ وزن دونات پس از سرخ کردن است، از مقایسه عکس راندمان سرخ کردن استفاده شد. زیرا وزن دونات بعد از سرخ کردن با جذب روغن زیاد می شود. بدین منظور، برای محاسبه راندمان سرخ کردن با در نظر گرفتن وزن دونات های سرخ شده و چانه های خام (خمیر) مطابق با روش Akdeniz و همکاران (۲۰۰۵) از رابطه (۱) استفاده شد. در این رابطه، CW وزن دونات سرخ شده (g) و C وزن دونات سرخ نشده (g) و Ra راندمان سرخ کردن می باشد. سپس عکس راندمان به دست آمد.

$$Ra = \left(\frac{CW}{C} \right) \times 100 \quad (1)$$

اندازه گیری محتوی و رطوبت

اندازه گیری محتوی رطوبت دونات ها مطابق با دستورالعمل AOAC (۱۹۹۵) با قرار دادن وزن معینی از دونات سرخ شده در آن ۱۰۵ درجه به مدت ۳ ساعت انجام شد. سپس با استفاده از رابطه (۲) میزان رطوبت نمونه بر مبنای وزن خشک بدون روغن محاسبه گردید. در این رابطه M جرم نسبی رطوبت بر مبنای وزن خشک بدون روغن (g/g, db)، W_0 وزن ثابت ظرف فلزی، W_1 وزن ظرف به همراه نمونه قبل از خشک کردن، W_2 وزن ظرف به همراه نمونه بعد از خشک کردن و W_{oil} وزن روغن جذب شده بر حسب ماده خشک (پس از استخراج روغن به روش سوکسله) همگی بر حسب گرم می باشند. تخمین محتوی رطوبت در خمیر نیز با روش یکسانی انجام گرفت (در $W_{oil}=0$ خمیر).

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_0 - W_{oil}} \quad (2)$$

شاخص اتلاف رطوبت

پس از محاسبه محتوی رطوبت در دونات و خمیر مطابق با Lim و همکاران (۲۰۱۲) شاخص اتلاف رطوبت با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه است. در این رابطه ML اتلاف رطوبت بر حسب گرم بر گرم خمیر، W_{dough} وزن خمیر، M_{dough} محتوی رطوبت خمیر، $W_{doughnut}$ وزن دونات و $M_{doughnut}$ محتوی رطوبت دونات را نشان می دهد.

$$ML (g / g) = \frac{(W_{dough} \times M_{dough}) - (W_{doughnut} \times M_{doughnut})}{W_{dough}} \quad (3)$$

اندازه گیری محتوی روغن

محتوی روغن دونات ها با استفاده از روش استخراج سوکسله نمونه های خشک به وسیله پترولیوم اتر به مدت ۶ ساعت مطابق با دستورالعمل

فرمولاسیون ها محاسبه شد و در جدول ۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نصف زمان هم زدن روی دور کند و نصف آن روی دور تند یا ضربه ای با هدف ورز دادن برآورد شد.

ورز دادن و قالب گیری خمیر

برای ورز دادن خمیر از وردنه و یک صفحه پلاستیکی استفاده شد. ابتدا روی صفحه پلاستیکی مقداری آرد پاشیده شد و سپس خمیر توسط وردنه به صورت لایه ای با ضخامت ۹-۱۰ میلی متر روی آن در آمد. ضخامت خمیر در نقاط تصادفی با کولیس دیجیتالی اندازه گیری شد. سپس قالب گیری خمیر دونات با استفاده از قالبی شش ضلعی انجام گرفت. وزن هر دونات قالب گیری شده حدود ۴۷ گرم بود. مدت زمان لازم برای ورز دادن و قالب گیری ۱۵-۱۰ دقیقه بود. تعداد ۲۰ چانه خمیر دونات برای هر فرمولاسیون (۱۰ فرمولاسیون) قالب گیری و توزین شد.

تخمیر و سرخ کردن

به منظور تخمیر، گرم خانه گذاری صنعتی در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد انجام گرفت. مدت زمان گرم خانه گذاری برابر با ۴۰-۳۰ دقیقه بود. پس از انجام فرآیند تخمیر؛ چانه های خمیر دونات ها با استفاده از سرخ کن صنعتی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد فرآوری شدند. مدت زمان سرخ کردن در طرف اول ۹۰ ثانیه و در طرف دوم ۷۵ ثانیه بود. پس از خروج از سرخ کن، دونات به مدت ۳۰۰ ثانیه در هوای محیط سرد شد و سپس تمامی نمونه ها توزین شد.

قرار دادن آیسینگ و بسته بندی

از کل نمونه ها، سه عدد دونات برای آزمایشات شیمیایی در نظر گرفته شد و مابقی ۱۷ عدد دونات وارد مرحله قرار دادن آیسینگ شد. آیسینگ مطابق جدول ۳ تهیه شد و روی دونات ها ریخته شد. وزن آیسینگ روی دونات حدود ۸ گرم بود. سپس بسته بندی با پلی پروپیلن انجام گرفت.

جدول ۳- فرمولاسیون معمول آیسینگ دونات

ردیف	ترکیب	مقدار مصرف (گرم)
۱	پودر شکر	۱۰۸/۵۶۴
۲	شربت آیسینگ بریکس ۷۰	۴۷/۳۵۰
۳	نشاسته	۰/۹۲۳
۴	جوش شیرین	۰/۰۵۵
۵	روغن جامد آفتاب	۳/۱۰۸
	مجموع (گرم)	۱۶۰

$$d = \frac{m}{V} \quad (7)$$

عکس برداری از محصول

به منظور بررسی تخلخل و رنگ به ترتیب عکس برداری از برش دونات و سطح نمونه های دونات انجام شد. عکس برداری با استفاده از یک اسکنر مسطح (HP Scanjet G2710) ساخت ایالات متحده آمریکا مطابق با روش Romani و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. نمونه های تحت تیمار روی اسکنر قرار گرفتند و سپس از یک جعبه سیاه جهت ممانعت از دخالت نورهای محیطی و بازتابش نور و یک خط کش برای تنظیم مقیاس استفاده شد. تصاویر با کیفیت ۳۰۰ dpi و فرمت TIFF-24 bit تهیه گردید.

شاخص تخلخل محصول

جهت بررسی تخلخل، مطابق با Sarraf و همکاران (۲۰۱۷)، تصاویر برش دونات توسط نرم افزار ImageJ نسخه 1.6.0 پردازش شد. مطابق شکل ۱ ابتدا تصویر اصلی (شکل ۱-الف) به تصویر ۸ بیتی (شکل ۱-ب) تبدیل شد و سپس تصویر دودویی (شکل ۱-ج) ایجاد گردید. سپس، نسبت مساحت بخش های تیره (S_b) و روشن (S_w) در تصاویر دودویی محاسبه شد و شاخص تخلخل (p) مطابق رابطه (۸) به دست آمد.

$$p = \frac{S_b}{S_w} \quad (8)$$

رنگ محصول

تجزیه و تحلیل رنگ در تصاویر به دست آمده مطابق روش صباغی و همکاران (۲۰۱۸) توسط نرم افزار ImageJ نسخه 1.6.0 انجام شد. بدین منظور فضای رنگی RGB به $L^*a^*b^*$ با استفاده از پلاگین تبدیل فضای رنگ^۲ تبدیل شد و سپس محاسبه روشنایی (L)، قرمزی (a) و زردی (b) انجام گرفت. پارامترهای شدت تغییرات رنگ (dE)، کروما (Cr) و اندیس قهوه ای شدن (BI) نیز محاسبه گردید. شدت تغییر رنگ (dE) مطابق روش Dadali و همکاران (۲۰۰۷) براساس رابطه (۹) محاسبه شد. در این رابطه، اندیس i مربوط به پارامترهای رنگی اولیه $L^*a^*b^*$ یا نمونه خمیر و اندیس t مربوط به پارامترهای رنگی نمونه دونات می باشد. مطابق روش Wojdyło و همکاران (۲۰۰۹) از مولفه های رنگی a (قرمزی) و b (زردی) که تعیین کننده وجود رنگدانه در محصول هستند می توان شاخص کروما (Cr) را مطابق رابطه (۱۰) محاسبه نمود.

AOAC (۱۹۹۵) تخمین زده شد. جرم نسبی روغن برحسب ماده خشک بدون روغن مطابق رابطه (۴) محاسبه شد. در این رابطه W_1 وزن ثابت اولیه بالن، W_2 وزن نهایی بالن پس از استخراج و m وزن نمونه خشک شده فاقد روغن بر حسب گرم می باشند و O میزان روغن جذب شده برحسب ماده خشک ($g/g, db$) محاسبه شد. میانگین محتوی چربی موجود در خمیر اولیه نیز محاسبه گردید و از این مقدار کسر شد.

$$O = \frac{W_1 - W_2}{m} \quad (4)$$

جذب روغن

پس از محاسبه محتوی روغن در دونات و خمیر؛ شاخص جذب روغن با استفاده از رابطه (۵) مطابق Lim و همکاران (۲۰۱۲) قابل محاسبه است. در این رابطه OU جذب روغن بر حسب گرم بر گرم خمیر، $W_{doughnut}$ وزن دونات، $O_{doughnut}$ محتوی روغن دونات، W_{dough} وزن خمیر و O_{dough} محتوی چربی خمیر را نشان می دهد.

$$OU(g/g) = \frac{(W_{doughnut} \times O_{doughnut}) - (W_{dough} \times O_{dough})}{W_{dough}} \quad (5)$$

شاخص بازدارندگی از جذب روغن

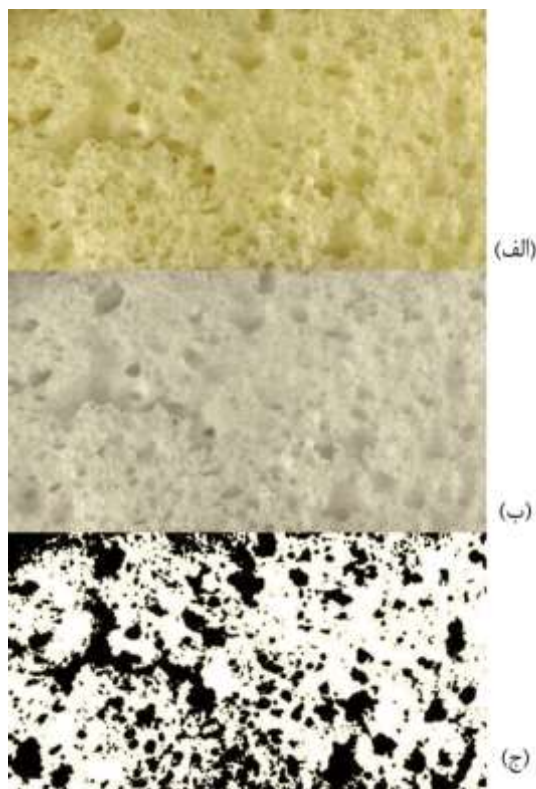
از نسبت جذب روغن (OU) به اتلاف رطوبت (ML) مطابق Lim و همکاران (۲۰۱۲) شاخص بازدارندگی جذب روغن (U_R) مطابق رابطه (۶) محاسبه شد. در اینجا شاخص بازدارندگی بیشتر نشان دهنده جذب روغن بیشتر است.

$$U_R = \frac{OU}{ML} \quad (6)$$

دانسیته محصول

محاسبه دانسیته با استفاده از روش وزن هکتولتر دانه های ارزن و روش جابه جایی^۱ مطابق با Véléz-Ruiz و Sosa-Morales (۲۰۰۳) انجام شد. ابتدا ظرفی با حجم مشخص از ارزن پر شد. وزن یک لیتر ارزن برابر با ۷۳۶/۹ گرم بود. سپس وزن نمونه دونات (m) با توزین مشخص شد و در ظرف قرار گرفت و باقی مانده حجم ظرف با ارزن پر شد. ارزن خارج مانده از ظرف در داخل یک استوانه مدرج ریخته شد و حجم (V) از روی استوانه مدرج مشخص گردید. این حجم برابر با حجم اشغال شده توسط نمونه دونات است. در نهایت، دانسیته (d) از رابطه (۷) بر حسب (g/cm^3) محاسبه شد.

$$C_r = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (10) \quad \Delta E = \sqrt{(L_i - L_t)^2 + (a_i - a_t)^2 + (b_i - b_t)^2} \quad (9)$$



شکل ۱- پردازش تصاویر برای محاسبه شاخص تخلخل (الف) تصویر اولیه (ب) تصویر ۸ بیتی (ج) تصویر دودویی

ماندگاری محصول

آزمون مرتبط با دوره نگهداری دونات در صنعت شامل بررسی نرمی بافت، عدم جذب آیسینگ و رشد کپک است که طی مدت دو هفته (۱۴ روز) به صورت روزانه از روز دوم تولید انجام شد و با مقایسه با نمونه شاهد امتیازدهی مطابق مقیاس شکل ۲ صورت گرفت. مطابق با روش صباغی و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی با انتخاب یک عدد از یک تا ده ضمن در نظرگیری امتیاز لفظی انجام گرفت. مطابق این مقیاس، نمرات از ۱ تا ۱۰ معادل با الفاظ خیلی خوب (۹ و ۱۰)، خوب (۷ و ۸)، متوسط (۵ و ۶)، بد (۳ و ۴) و خیلی بد (۱ و ۲) بود.

خیلی بد	بد	متوسط	خوب	خیلی خوب
Very bad	Bad	Moderately	Good	Very good
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10

شکل ۲- مقیاس هدونیک با پنج تقسیم بندی برای ارزیابی دونات

اندیس قهوه ای شدن (BI) نیز مطابق روش Maskan (۲۰۰۱) از رابطه (۱۱) حساب شد. در این رابطه، متغیر x از رابطه (۱۲) به دست می آید.

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (11)$$

$$x = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)} \quad (12)$$

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری برای بررسی تاثیر صمغ روی پارامترهای کیفی اندازه گیری شده به صورت طرح کاملاً تصادفی با در نظرگیری

۱۰ تیمار فرمولاسیون به صورت شاهد (فاقد صمغ)، صمغ زانتان (سه میزان: ۰/۵ و ۱/۵ درصد)، کربوکسی متیل سلولز (سه میزان: ۰/۵ و ۱/۵ درصد) و تیمار ترکیبی ۵۰:۵۰ (سه میزان: ۰/۵ و ۱/۵ درصد)

انجام گرفت. در صورت وجود اختلاف معنی دار مقایسه میانگین دانکن با سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت ($P < 0.05$). برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ استفاده شد. کلیه آزمایشات با سه تکرار انجام گرفت.

نتایج و بحث

رطوبت دونات

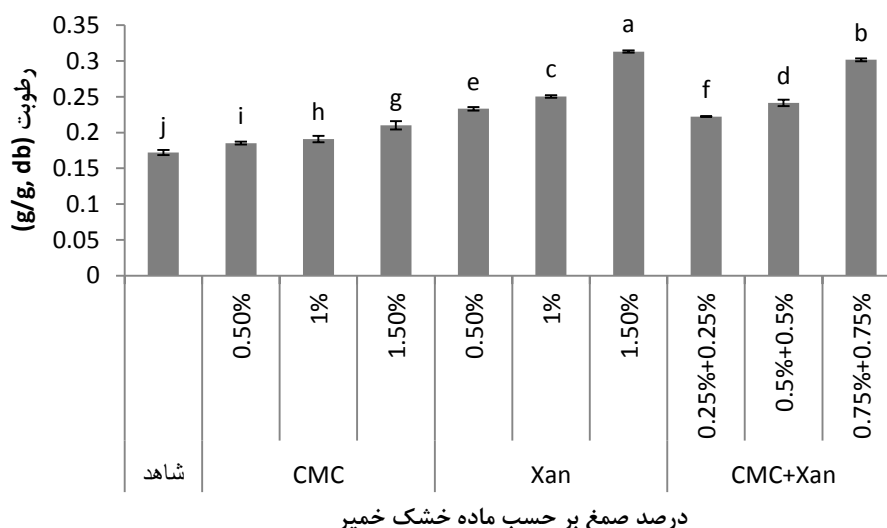
جدول ۴ و ۵ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری را به ترتیب برای داده‌های محتوی رطوبت و اتلاف رطوبت دونات را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، اختلاف میان تیمارهای آزمون معنی دار شده است ($P < 0.05$). شکل ۳ و ۴ نیز به ترتیب مقایسه میانگین محتوی رطوبت و اتلاف رطوبت را میان فرمولاسیون‌های مختلف آزمون

جدول ۴- تجزیه واریانس برای داده‌های رطوبت دونات ($P < 0.05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
۰۰۰/۰۰۰	۵۹۹/۳۰۶	۰/۰۰۷	۹	۰/۰۶۰	بین گروه‌ها (تیمار)
		۰/۰۰۰	۲۰	۰/۰۰۰	داخل گروه‌ها (خطا)
			۲۹	۰/۰۶۰	کل

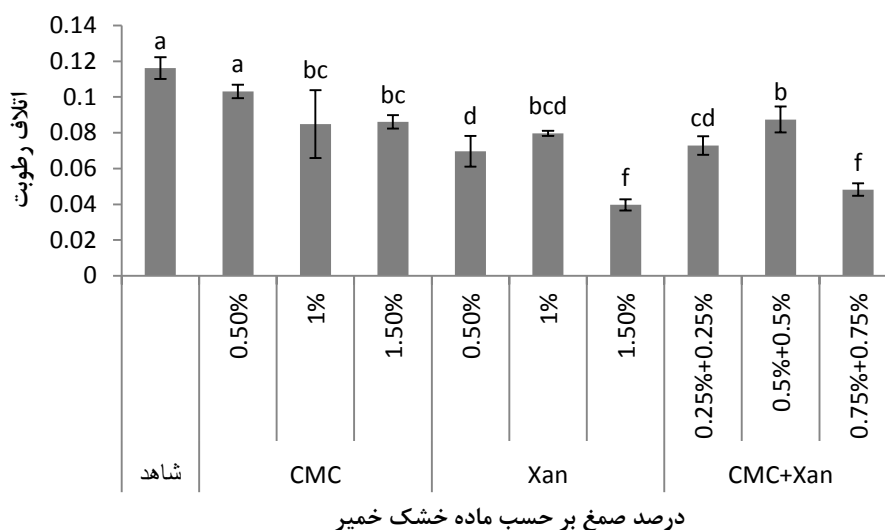
جدول ۵- تجزیه واریانس برای داده‌های اتلاف رطوبت دونات ($P < 0.05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
۰۰۰/۰۰۰	۲۶/۱۸۰	۰/۰۰۲	۹	۰/۰۱۴	بین گروه‌ها (تیمار)
		۰/۰۰۰	۲۰	۰/۰۰۱	داخل گروه‌ها (خطا)
			۲۹	۰/۰۱۵	کل



درصد صمغ بر حسب ماده خشک خمیر

شکل ۳- مقایسه میانگین محتوی رطوبت دونات در تیمارهای آزمون



شکل ۴- مقایسه میانگین اتلاف رطوبت دونات در تیمارهای آزمون

محتوی روغن کاهش یافت. در مقابل، بیشترین جذب روغن در نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز مشاهده شد. جذب روغن در دونات ارتباط معکوس با توانایی فرمولاسیون در حفظ رطوبت محصول داشت. به این معنی که با افزایش درصد حضور صمغ‌ها در محصول جذب روغن و در نتیجه محتوی روغن محصول کاهش یافت. در واقع، فرمولاسیون‌های حاوی درصد‌های بیشتر صمغ دارای بازدارندگی بالاتری در جذب روغن به علت حفظ رطوبت بودند. در همین راستا، Saguy و Pinthus (۱۹۹۵) نیز بیان کردند که اولین مکانیسم جذب روغن جایگزینی آب است. در این حالت روغن به ماده غذایی چسبیده و متناسب با مقدار آبی که ماده غذایی از دست داده، وارد منافذ موجود در ماده غذایی می‌شود. این عمل از چروکیده شدن سطح ماده غذایی جلوگیری می‌کند. Sabbaghi و Ziaifar (۲۰۱۸) بیان کردند که با افزایش غلظت بقایای روغن در بستر سرخ‌کن، جذب روغن نیز بیشتر خواهد شد. ترکیبات هیدروکلوئیدی با کاهش خروج رطوبت موجب جلوگیری از واکنش‌های هیدرولیز می‌گردند و در نتیجه ساختار روغن کمتر دچار آلودگی پلیمری خواهد شد.

در همین راستا، Suárez و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که حضور مشتقات سلولز، جذب روغن را به دلیل ویژگی تشکیل ژل^۱ در شرایط حرارتی کاهش می‌دهد. وقتی این ترکیبات به یک خمیره اضافه می‌شوند در اسرع وقت ژل تشکیل می‌دهند که ظرفیت بالایی را در احتباس آب در هنگام تماس با روغن داغ دارا است و این امر در حفظ رطوبت بستر و همچنین جلوگیری از نفوذ روغن موثر خواهد بود.

جذب روغن دونات

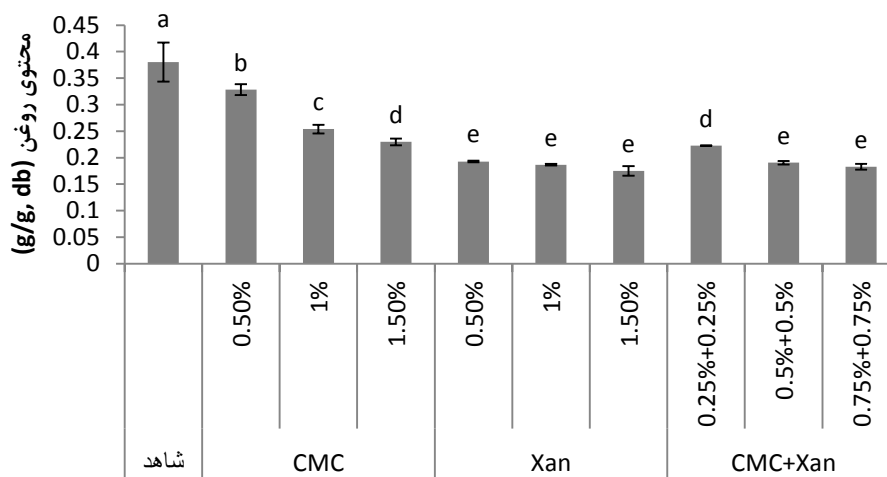
جدول ۶ و ۷ نتایج تجزیه واریانس را به ترتیب برای داده‌های محتوی روغن و جذب روغن دونات‌ها مشخص می‌نماید. اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون معنی‌دار بوده است ($P < 0.05$). در شکل ۵ و ۶ مقایسه میانگین برای محتوی روغن و جذب روغن فرمولاسیون‌های مختلف نشان داده شده است. کمترین محتوی روغن به شکل معنی‌داری در نمونه‌های حاوی زانتان مشاهده شد (محتوی روغن برابر با ۰/۱۷۴ گرم روغن بر گرم ماده خشک و جذب روغن معادل ۰/۰۸۷ در میزان ۱/۵ درصد صمغ زانتان). با افزایش میزان صمغ‌ها همواره

 جدول ۶- تجزیه واریانس برای داده‌های محتوی روغن دونات ($P < 0.05$)

معنی‌داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
۰۰۰/۰۰۰	۸۴/۶۵۷	۰/۰۱۴	۹	۰/۱۲۹	بین گروه‌ها (تیمار)
		۰/۰۰۰	۲۰	۰/۰۰۳	داخل گروه‌ها (خطا)
			۲۹	۰/۱۳۲	کل

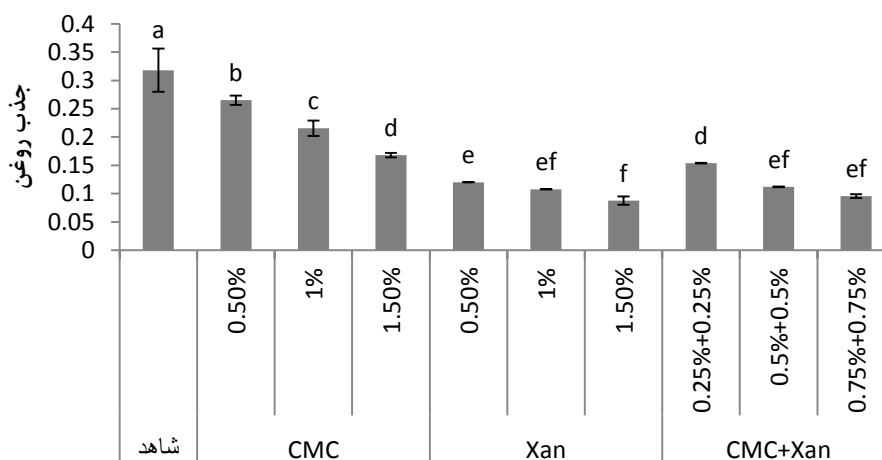
جدول ۷- تجزیه واریانس برای داده‌های جذب روغن دونات ($P < 0.05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
۰.۰۰/۰.۰۰	۱۰۲/۸۱۴	۰/۰۱۸	۹	۰/۱۶۵	بین گروه‌ها (تیمار)
		۰/۰۰۰	۲۰	۰/۰۰۴	داخل گروه‌ها (خطا)
			۲۹	۰/۱۶۹	کل



درصد صمغ بر حسب ماده خشک خمیر

شکل ۵- مقایسه میانگین محتوی روغن دونات در تیمارهای آزمون



درصد صمغ بر حسب ماده خشک خمیر

شکل ۶- مقایسه میانگین جذب روغن دونات در تیمارهای آزمون

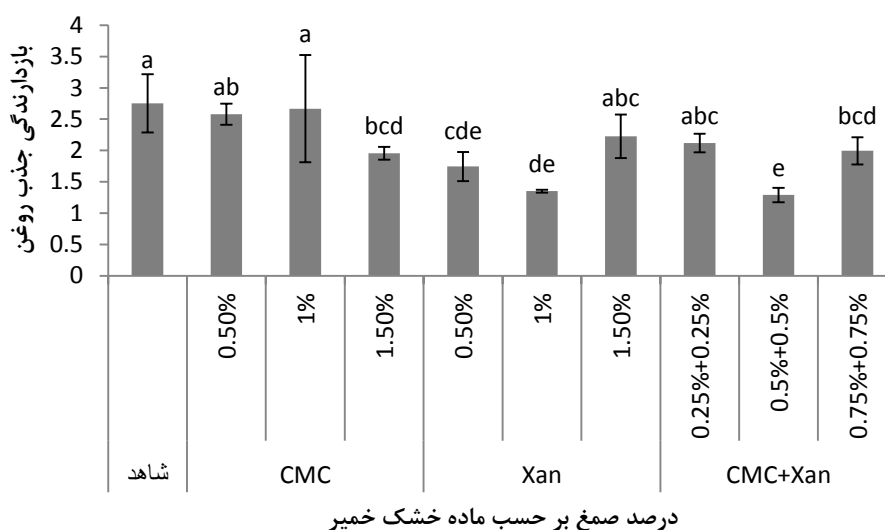
عکس راندمان سرخ کردن به معنی عدم تغییرات جرمی محصول طی سرخ کردن است. با انجام تجزیه واریانس مطابق جدول ۹ اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون معنی دار شد. بنابراین زانتان ۱/۵ درصد بیشترین عکس راندمان را نشان داد که با کاهش درصد به کارگیری صمغ، این نسبت کاهش یافت (شکل ۸).

نسبت بازدارندگی جذب روغن و عکس راندمان سرخ کردن

نسبت بازدارندگی جذب روغن رابطه مستقیم با جذب روغن دارد. بنابراین با افزایش جذب روغن نسبت بازدارندگی جذب روغن هم افزایش می‌یابد. اختلاف میان تیمارهای آزمون از این نظر نیز معنی دار بود (جدول ۸). بنابراین مطابق شکل ۷ تیمارهای حاوی زانتان کمترین نسبت بازدارندگی را داشتند.

جدول ۸- تجزیه واریانس برای داده‌های بازدارندگی جذب روغن دونات ($P < 0.05$)

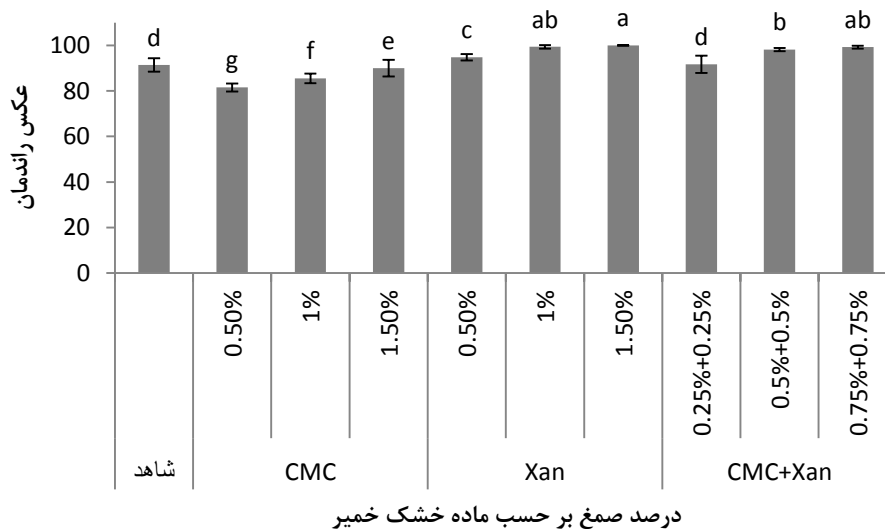
معنی‌داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
...	۶/۳۱۴	۰/۷۸۷	۹	۷/۰۸۱	بین گروه‌ها (تیمار)
...		۰/۱۲۵	۲۰	۲/۴۹۲	داخل گروه‌ها (خطا)
			۲۹	۹/۵۷۳	کل



شکل ۷- مقایسه میانگین بازدارندگی جذب روغن دونات در تیمارهای آزمون

جدول ۹- تجزیه واریانس برای داده‌های عکس راندمان سرخ کردن ($P < 0.05$)

معنی‌داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
...	۱۶۹/۲۷۱	۷۹۶/۲۰۷	۹	۷۱۶۵/۸۶۵	بین گروه‌ها (تیمار)
...		۴/۷۰۴	۱۸۹	۸۸۹/۰۰۷	داخل گروه‌ها (خطا)
			۱۹۸	۸۰۵۴/۸۷۲	کل



شکل ۸- مقایسه میانگین عکس راندمان سرخ کردن دونات در تیمارهای آزمون

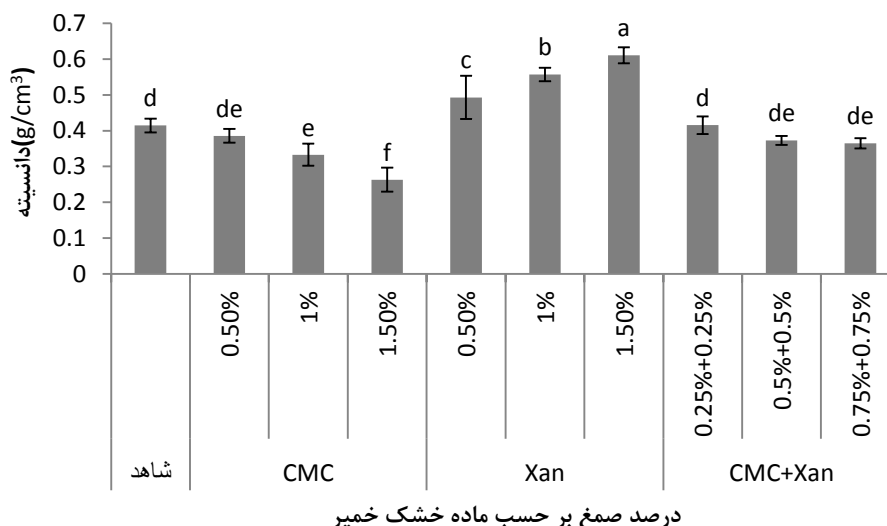
دانشیه دونات

حاوی زانتان و کربوکسی متیل سلولز نمود متفاوتی داشت. با افزایش میزان زانتان حجم محصول کاهش یافت در حالی که با افزایش میزان کربوکسی متیل سلولز حجم افزایش پیدا کرد. در سطوح ترکیبی نیز اختلاف چندانی با شاهد ملاحظه نشد. تغییرات حجمی محصول به علت توسعه بافت محصول در دماهای بالای فرآیند سرخ کردن حادث می‌گردد. افزایش حجم موجب افزایش سطح محصول در تماس با روغن می‌گردد. بنابراین نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز سطح تماس روغن بیشتری داشتند و جذب روغن بالاتری نیز نشان دادند.

جدول ۱۰ تجزیه واریانس داده‌های دانشیه را نشان می‌دهد. اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون از نظر دانشیه و حجم معنی‌دار بوده است ($P < 0.05$). مقایسه میانگین در شکل ۹ مشخص است. بیشترین دانشیه یا کمترین حجم در نمونه‌های حاوی صمغ زانتان به خصوص میزان ۱/۵ درصد این صمغ مشاهده گردید (بیشترین دانشیه معادل با ۰/۶۱۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در میزان ۱/۵ درصد صمغ زانتان). تغییرات حجم در فرمولاسیون‌های

جدول ۱۰- تجزیه واریانس برای داده‌های دانشیه دونات ($P < 0.05$)

معنی‌داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
۰۰۰/۰۰۰	۴۰/۱۷۶	۰/۰۳۳	۹	۰/۲۹۷	بین گروه‌ها (تیمار)
		۰/۰۰۱	۲۰	۰/۰۱۶	داخل گروه‌ها (خطا)
			۲۹	۰/۳۱۳	کل



شکل ۹- مقایسه میانگین دانشیه دونات در تیمارهای آزمون

ریزساختارهای پوسته و خصوصیات خیس‌شوندگی ماتریس ماده غذایی نیز موجب اختلاف جذب روغن در مواد غذایی مختلف می‌باشد. روغن در سطح محصول دونات تجمع می‌یابد و هرچه سطح تماس افزایش یابد، جذب سطحی بیشتر خواهد شد. Mellema (۲۰۰۳) بیان کرد که دلیل دیگری نیز برای تجمع روغن در بخش‌های سطحی وجود دارد. در واقع روغن سرخ‌کردنی می‌تواند دارای بخش‌هایی باشد که بتوانند در طی مرحله سردکردن دچار تبلور^۳ شوند و به حالت جامد تبدیل گردند، بنابراین حذف این بخش از روغن با تکان‌دادن^۴ یا قراردادن محصول

در همین راستا، Bouchon و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که سطح ماده غذایی نقش مهمی را در پدیده جذب روغن ایفا می‌کند. Moreno و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که محصولات خصوصیات سطحی متفاوتی دارند. به عنوان مثال، محصولی که بر پایه قطعات سیب زمینی^۱ است، دارای بی‌نظمی‌های سطحی بیشتری در مقایسه با محصولی می‌باشد که بر پایه گلوتن^۲ است. به‌طور کلی می‌توان گفت ارتباط خطی بین جذب روغن و خصوصیات سطحی محصول مانند زبری و سطح وجود دارد. اما باید توجه داشت که خصوصیات دیگر مانند

3 Crystallization
4 Shake

1 Potato flakes
2 Gluten

در سبدهای فلزی^۱ دشوار می‌باشد و در نتیجه این حالت، مقدار روغن ماده غذایی افزایش خواهد یافت. دانسیته محصولات سرخ‌شده تحت تاثیر تغییرات چروکیدگی، تخلخل و خصوصیات انتقال بافت ماده نظیر نفوذ حرارتی و جرمی در طی سرخ کردن تغییر می‌کند. محتوی روغن کمتر در محصول (تیمارهای حاوی زانتان)، به دلیل دانسیته کمتر روغن نسبت به محصول، موجب افزایش دانسیته مطلق خواهد شد. بنابراین، جذب روغن به دلیل اینکه دانسیته روغن از محصول کمتر است، موجب کاهش دانسیته مطلق می‌گردد.

تخلخل دونات

جدول ۱۱ تجزیه واریانس داده‌های نسبت شاخص تخلخل در نمونه‌های مورد آزمون را نشان می‌دهد. اختلاف میان تیمارها معنی‌دار بود که مقایسه در شکل ۱۰ مشخص شده است ($P < 0.05$). شاخص تخلخل در نمونه‌های حاوی زانتان با افزایش درصد صمغ کاسته شد و در نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز با افزایش درصد صمغ زیاد شد. بیشترین تخلخل در نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز دیده شد. کمترین تخلخل در نمونه‌های حاوی میزان ۱ و ۱/۵ درصد زانتان نمایان بود. تخلخل و حجم نمونه‌ها با یکدیگر رابطه مستقیم داشتند. در نمونه‌های حاوی نسبت‌های ترکیبی صمغ تغییرات تخلخل با افزایش درصد صمغ معنی‌دار نبود. می‌توان گفت که، فرمولاسیون‌های حاوی زانتان نمونه‌هایی هستند که افزایش اندکی را در اندازه حجم سلولی نشان می‌دهند و دارای یکپارچگی سلولی^۲ هستند و تخلخل کمتری دارند اما ساختار غشاء سلولی با حفظ رطوبت بهبود یافته است. در واقع کاهش شدت تبخیر در فرمولاسیون حاوی زانتان موجب کاهش تخلخل نیز شده است. نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز ساختار متخلخل و جذب روغن بیشتری را نشان دادند. در همین راستا، Moreira و Barrufet (۱۹۹۶) بیان کردند که بیشترین جذب روغن به محصول در زمان برداشتن از روی سرخ‌کن، فشار ناشی از کندانس شدن بخار و ایجاد شرایط خلاء در داخل محصول و فشار نیروهای موئینی^۳ است. Gamble و همکاران (۱۹۸۷) نیز گزارش کردند که روغن جذب شده در حفرات، ناشی از خروج آب، از طریق

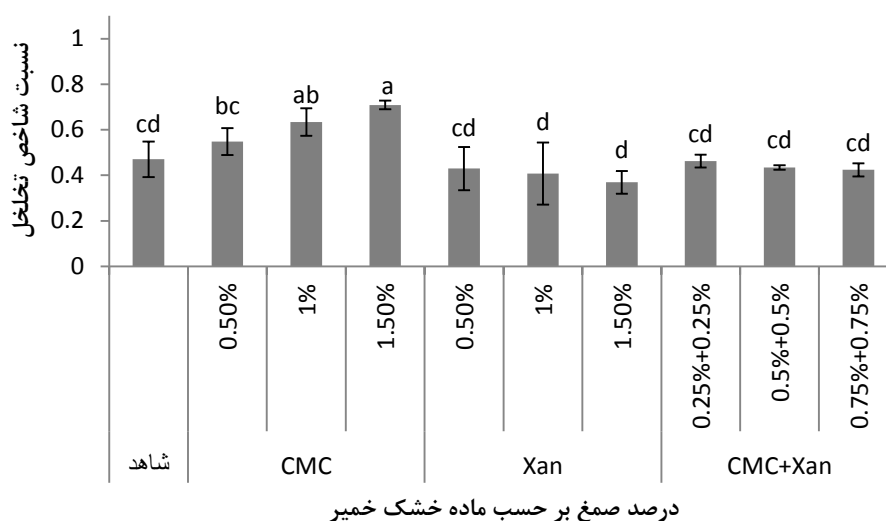
جلوگیری از انقباض و چروکیدگی و بسته شدن منافذ، تمامیت ساختاری محصول را حفظ کرده و به خروج آب از محصول نیز می‌تواند کمک کند. بنابراین، کاهش توانایی حفظ رطوبت در دونات حاوی کربوکسی متیل سلولز طی سرخ کردن می‌تواند به دلیل ساختار متخلخل باشد. همچنین، Kim و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که در واقع کاهش جذب روغن توسط ترکیب هیدروکلوئیدی (زانتان) به احتمال زیادی می‌تواند ناشی از کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی نیز باشد. زیرا تبخیر شدید آب، طی انتقال حرارت در فرآیند سرخ کردن، موجب ایجاد حفرات و منافذ در ماده غذایی می‌شود و ترکیبات هیدروکلوئیدی با کاهش ضریب انتقال حرارت و قابلیت نگهداری آب، شدت تبخیر آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تبخیر همچنین موجب چروکیدگی محصول و توسعه تخلخل و زبری^۴ سطحی می‌گردد (افزایش جذب روغن). تبخیر خیلی شدید می‌تواند منجر به تشکیل حفرات بزرگ‌تری نیز در سطح محصول گردد. بنابراین، طی سرخ کردن همان‌طور که آب محصول خارج و کاسته می‌شود، احتمال ورود و نفوذ روغن به منافذ افزایش می‌یابد. مقاومت در برابر مهاجرت روغن به ویسکوزیته روغن و نحوه اتصال و بهم پیوستگی حفرات و سلول‌های خالی (تخلخل) بستگی دارد. افزایش تخلخل با سرخ کردن مشاهده شود که علت آن حذف رطوبت و تشکیل منافذ درون ماده غذایی است. طی مرحله سرد کردن تخلخل محصول کاهش یافته و جذب روغن افزایش می‌یابد. نرخ کاهش تخلخل طی مرحله سرد کردن بیشتر از نرخ افزایش تخلخل طی سرخ کردن است و در نتیجه جذب روغن طی سرد کردن با نرخ بیشتری نسبت به سرخ کردن رخ می‌دهد (تبلور روغن در سطح). روغن جذب شده به دلیل پر کردن منافذ محصول می‌تواند روی تخلخل تاثیر داشته باشد. طی سرخ کردن جذب روغن محدودتر است و محتوی روغن برای پر کردن منافذی که به طور مداوم در حال تشکیل هستند، کافی نیست. در واقع، جذب روغن و متلاشی شدن منافذ دو دلیل عمده در کاهش تخلخل طی سرد کردن محصول می‌باشند. با توجه به حجم ناچیز روغن جذب شده می‌توان گفت متلاشی شدن منافذ نقش مهم‌تری در کاهش تخلخل طی سرد کردن محصول دارد.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس برای داده‌های نسبت شاخص تخلخل ($P < 0.05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
۰۰۰/۰۰۰	۷/۷۳۳	۰/۰۳۵	۹	۰/۳۱۶	بین گروه‌ها (تیمار)
		۰/۰۰۵	۲۰	۰/۰۹۱	داخل گروه‌ها (خطا)
			۲۹	۰/۴۰۷	کل

3 Capillary Forces
4 Roughness

1 Drain
2 Cellular integrity



شکل ۱۰- مقایسه میانگین نسبت شاخص تخلخل دونات در تیمارهای آزمون

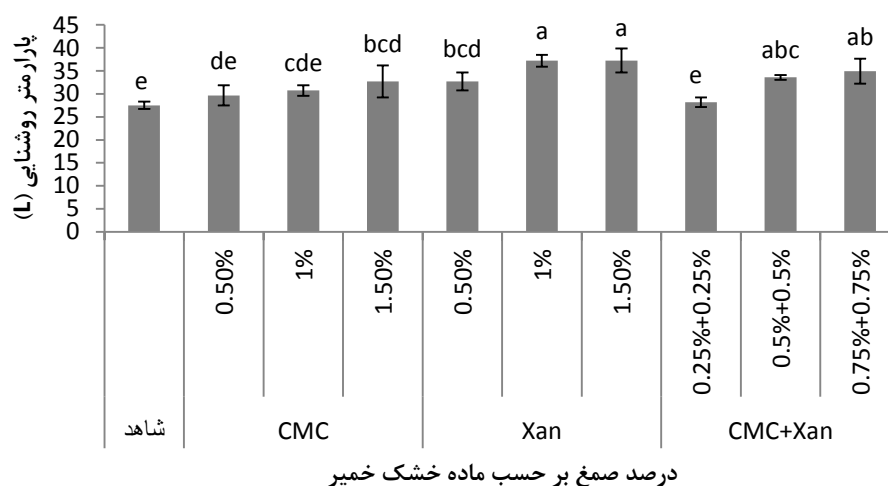
شکل‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ به ترتیب مقایسه میانگین برای پارامتر روشنایی، پارامتر قرمزی، پارامتر زردی، شدت تغییرات رنگ از خمیر به دونات، شاخص کروما و اندیس قهوه‌ای شدن را میان تیمارهای مورد آزمون نشان می‌دهد.

رنگ دونات

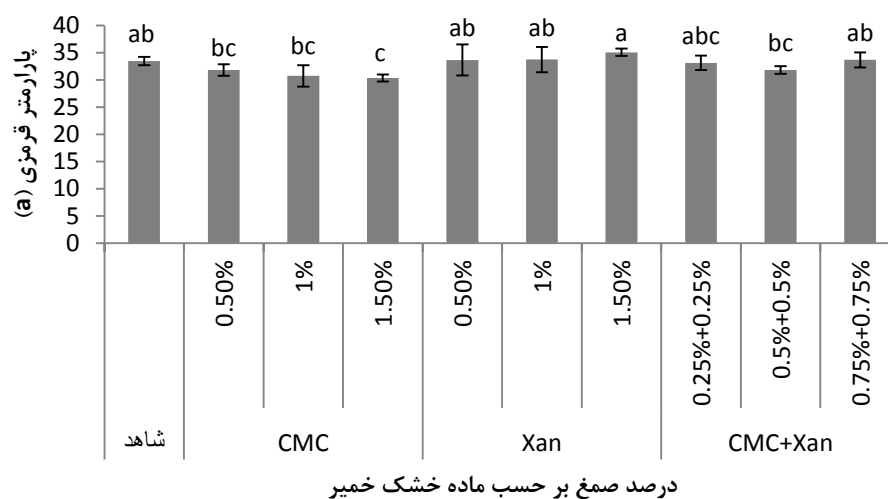
جدول ۱۲ نتایج تجزیه واریانس را برای پارامترهای رنگی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون از نظر پارامترهای مختلف رنگ معنی‌دار بود ($P < 0.05$).

جدول ۱۲- تجزیه واریانس برای داده‌های پارامترهای رنگ دونات ($P < 0.05$)

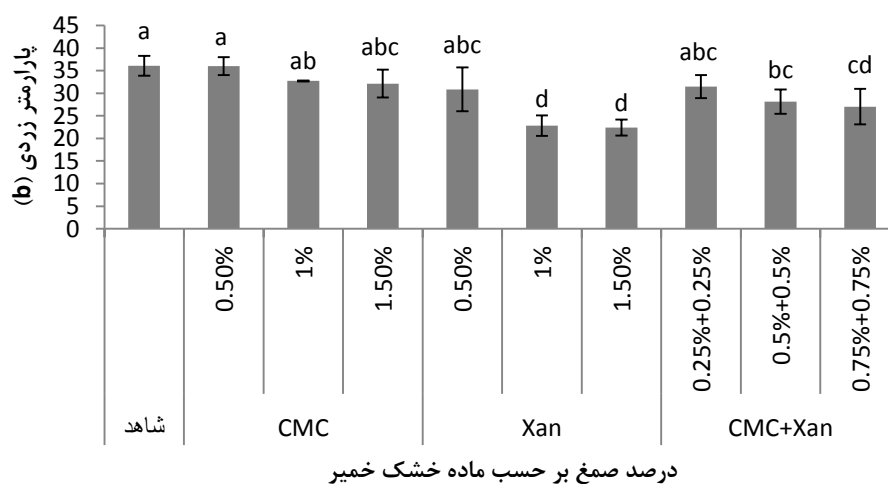
پارامتر رنگ	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
روشنایی (L)	تیمار	۹	۳۵/۵۰۶	۸/۹۳۳	۰۰۰/۰۰۰
	خطا	۲۰	۳/۹۷۵		
	کل	۲۹			
قرمزی (a)	تیمار	۹	۶/۷۷۱	۲/۷۹۰	۰/۰۲۷
	خطا	۲۰	۲/۴۲۷		
	کل	۲۹			
زردی (b)	تیمار	۹	۶۹/۸۷۶	۸/۷۵۷	۰۰۰/۰۰۰
	خطا	۲۰	۷/۹۸۰		
	کل	۲۹			
شدت تغییرات رنگ (dE)	تیمار	۹	۲۷/۳۳۶	۷/۵۵۶	۰۰۰/۰۰۰
	خطا	۲۰	۳/۶۱۸		
	کل	۲۹			
کروما (Cr)	تیمار	۹	۵/۵۷۶	۲/۷۰۷	۰/۰۳۱
	خطا	۲۰	۲/۰۶۰		
	کل	۲۹			
اندیس قهوه‌ای شدن (BI)	تیمار	۹	۲۳۶۲۳/۰۷۳	۲۶/۷۴۷	۰۰۰/۰۰۰
	خطا	۲۰	۸۸۳/۲۰۰		
	کل	۲۹			



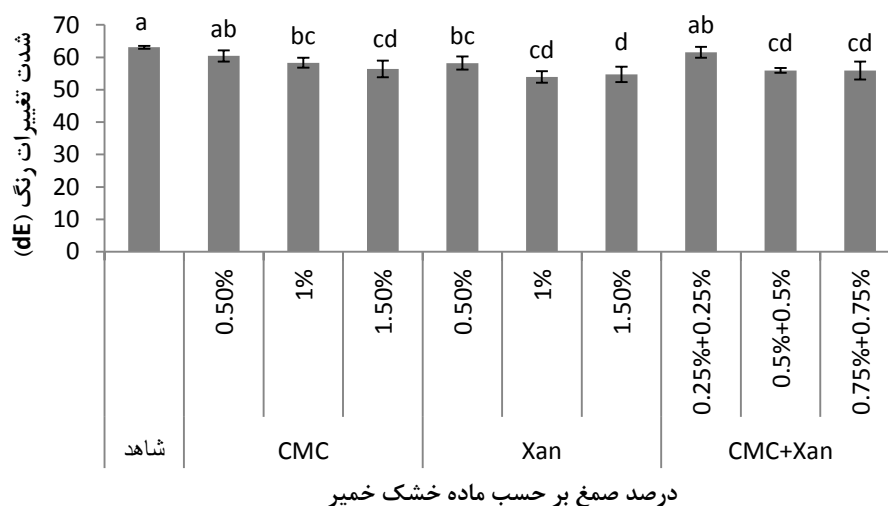
شکل ۱۱- مقایسه میانگین پارامتر روشنایی رنگ دونات در تیمارهای آزمون



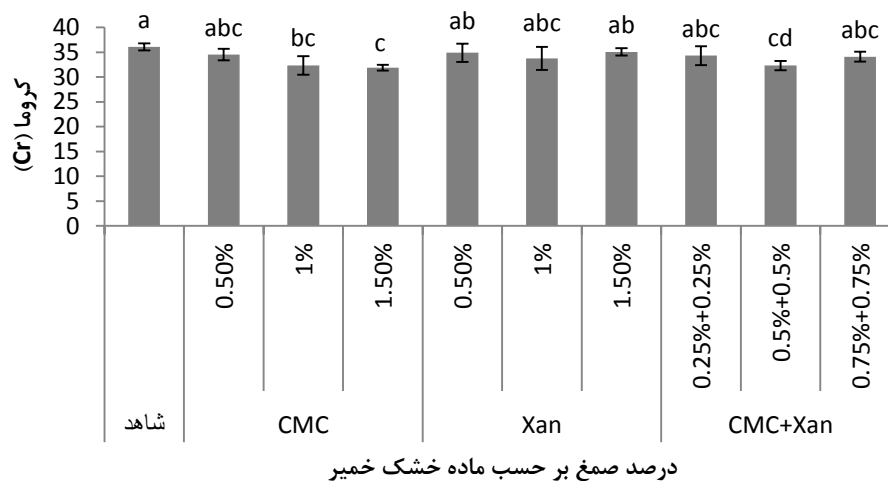
شکل ۱۲- مقایسه میانگین پارامتر قرمزی رنگ دونات در تیمارهای آزمون



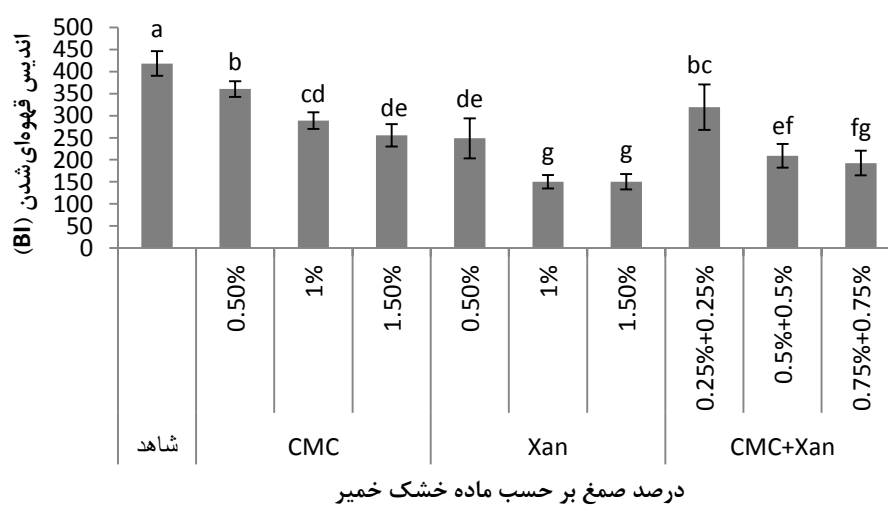
شکل ۱۳- مقایسه میانگین پارامتر زردی رنگ دونات در تیمارهای آزمون



شکل ۱۴- مقایسه میانگین شدت تغییرات رنگ دونات در تیمارهای آزمون



شکل ۱۵- مقایسه میانگین کرومای رنگ دونات در تیمارهای آزمون



شکل ۱۶- مقایسه میانگین اندیس قهوه‌ای شدن دونات در تیمارهای آزمون

پارامتر روشنایی در نمونه‌های حاوی زانتان بیشتر بود که می‌تواند به دلیل وجود محتوی رطوبت بیشتر باشد. با کاهش درصد صمغ و در نتیجه افزایش اتلاف رطوبت سطحی پارامتر روشنایی در رنگ نمونه‌های دونات کاهش یافت. پارامتر قرمزی نیز در نمونه‌های حاوی زانتان بیشتر بود که به دلیل فشردگی بیشتر محصول به‌طور نسبی رنگدانه قرمز بیشتری با افزایش میزان زانتان مشاهده شد. با افزایش میزان کربوکسی متیل سلولز مقدار پارامتر قرمزی کاهش یافت. در نسبت‌های ترکیبی رفتاری مشابه زانتان ملاحظه گردید. پارامتر زردی در نمونه‌های حاوی زانتان ۱/۵ و ۱ درصد کمترین میزان بود که کاهش زردی می‌تواند ناشی از تقلیل جذب روغن باشد. بیشترین زردی در نمونه شاهد و سپس کربوکسی متیل سلولز ۰/۵ درصد دیده شد. بیشترین شدت تغییرات رنگ در نمونه شاهد ملاحظه شد. کمترین تغییرات رنگ نیز در نمونه حاوی زانتان ۱/۵ درصد مشاهده گردید. با افزایش درصد صمغ‌ها نیز شدت تغییرات رنگ کاسته شد. این امر نشان‌دهنده این است که نمونه‌های حاوی هر میزان از صمغ‌های مورد آزمون دارای نرخ تغییرات رنگ کندتری بودند و دلیل آن می‌تواند کاهش نسبت شکر در فرمولاسیون و حفظ رطوبت و اثرات جذب روغن باشد. از نظر شاخص کروما نیز نمونه‌ها با وجود اختلاف معنی‌دار زیرگروه‌های بسیار مشترک داشتند (سطح معنی‌داری = ۰/۰۳۱). بیشترین مقدار رنگدانه در نمونه شاهد بود و سایر تیمارها زیرگروه‌های مشترک متمایزی را نمایان ساختند. کروما مشخص می‌نماید که رنگدانه‌ها (پارامترهای رنگی قرمزی و زردی) در تیمارها با به کارگیری صمغ در مجموع کمتر بودند. قهوه‌ای شدن در نمونه‌های حاوی زانتان ۱/۵ درصد بیشتر بود ولی تقریباً نمونه‌های دیگر در از نظر معنی‌داری اختلاف چندانی نداشتند و زیرگروه‌های مشترک نشان دادند. در کل از نظر رنگ اختلاف چندانی بین ظاهر نمونه‌ها مشاهده نشد، هرچند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار بود ($P < 0/05$). نمونه شاهد تماماً زردی و قرمزگونی بالایی داشت. در همین راستا، Bingol و همکاران (۲۰۱۲) و همچنین صباغی و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند، محصولات سرخ‌شده براساس نوع ترکیبات خود تمایل متفاوتی به واکنش‌های تغییر رنگ نشان می‌دهند. با افزایش ضخامت پوسته که روغن بخش عمده تشکیل‌دهنده آن می‌باشد، غلظت ترکیبات ماده خشک محصول افزایش یافته و این امر موجب افزایش پارامتر زردی و البته قرمزی محصول می‌گردد. بنابراین

قرمزگونی^۱ و زرد گونی^۲ محصول اغلب به طور مشابهی تحت تاثیر دما و زمان افزایش می‌یابند. البته افزایش زردی می‌تواند ناشی از جذب سطحی کارتنوئیدهای موجود در بستر روغن نیز باشد. بنابراین کاهش جذب روغن می‌تواند باعث کاهش پارامتر زردی شود (نمونه‌های حاوی زانتان). همچنین آن‌ها بیان کردند که علت این کاهش در فاکتورهای رنگی می‌تواند کاهش توسعه خطوط ریز^۳ در محصول یا ایجاد خلل و فرج و خروج هوای بین سلولی و تغییر در خصوصیات بازتاب نور (برای فاکتور L و a) و نشأت کارتنوئید به داخل روغن (برای فاکتور b) باشد. بنابراین در نمونه‌های حاوی صمغ که تخلخل بالاتری داشتند روشنایی بیشتر هم مشاهده شد. بنابراین با کنترل حفظ رطوبت کمترین شدت تغییرات رنگ نیز در نمونه حاوی زانتان ۱/۵ درصد ملاحظه شد و این نمونه از نظر قهوه‌ای شدن رفتار یکسانی با نمونه حاوی میزان ۱ درصد زانتان نیز نشان داد. تمامی سطوح زانتان اختلاف معنی‌دار در کروما نداشتند.

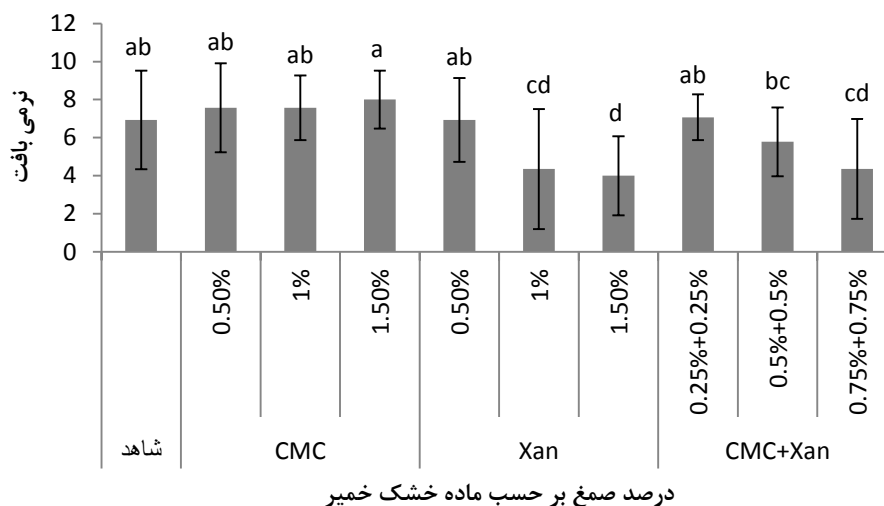
ماندگاری دونات

جدول ۱۳ و ۱۴ تجزیه واریانس را به ترتیب داده‌های ارزیابی نرمی بافت و عدم جذب آیسینگ را مشخص می‌نماید. اختلاف معنی‌دار میان تیمارها مشاهده شد ($P < 0/05$). شکل ۱۷ و ۱۸ مقایسه میانگین آماری را برای ارزیابی نرمی بافت و عدم جذب آیسینگ نشان می‌دهد. رشد کپک در هیچ یک از تیمارهای آزمون و شاهد مشاهده نشد. بیشترین نرمی بافت در کربوکسی متیل سلولز ۱/۵ درصد مشاهده شد که این امر به دلیل توسعه تخلخل (شدت تبخیر) می‌تواند باشد. کمترین نرمی بافت در نمونه‌های حاوی زانتان ۱ و ۱/۵ درصد دیده شد. بیشترین عدم جذب آیسینگ در نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز نشان داده شده است که بافت نرم و متخلخل دارند. نمونه‌های حاوی زانتان دارای کمترین امتیاز عدم جذب آیسینگ بودند که بافت فشرده، حجم کم و رطوبت زیاد شرایط مناسب برای جذب آیسینگ را نشان می‌دهد. در واقع، نگهداری آیسینگ در نمونه‌های سفت کمتر بود که می‌تواند به دلیل رقابت زانتان با گلوتن در کشیدن آب باشد. در همین راستا، Ashwini و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که استفاده از مشتقات سلولز موجب بهبود نرمات ارزیابی بافت کیک شد.

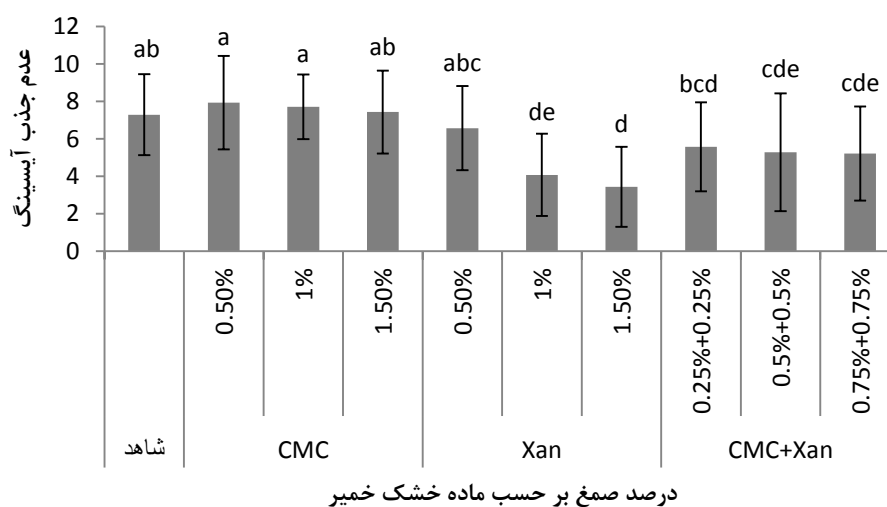
جدول ۱۳- تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی نرمی بافت ($P < 0/05$)

معنی‌داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
۰۰۰/۰۰۰	۶/۶۶۹	۳۲/۰۳۵	۹	۲۸۸/۳۱۴	بین گروه‌ها (تیمار)
		۴/۸۰۳	۱۳۰	۶۲۴/۴۲۹	داخل گروه‌ها (خطا)

کل	۹۱۲/۷۴۳	۱۳۹	جدول ۱۴- تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی عدم جذب آیسینگ ($P < 0.05$)		
	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
بین گروه‌ها (تیمار)	۳۱۲/۱۵۰	۹	۳۴/۶۸۳	۶/۲۹۳	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها (خطا)	۷۱۶/۵۰۰	۱۳۰	۵/۵۱۲		
کل	۱۰۲۸/۶۵۰	۱۳۹			



شکل ۱۷- مقایسه میانگین امتیاز نرمی بافت دونات در تیمارهای آزمون



شکل ۱۸- مقایسه میانگین امتیاز عدم جذب آیسینگ دونات در تیمارهای آزمون

و بدون مزه نیز می‌شوند. درضمن، وجود درصد بالای روغن در محصول به دلیل انجام فرآیندهایی چون برگشت طعم^۲ و اکسیداسیون، موجب

همچنین Ross و Scanlon (۲۰۰۴) و Moreira و Barrufet (۱۹۹۶) بیان کردند که اگرچه بافت محصولات با میزان روغن کم می‌تواند سخت و نامطلوب باشد، ولی به هر حال مقدار روغن بالا برای فرآیندکنندگان، گران قیمت بوده و منجر به تولید یک محصول چرب^۱

افزایش درصد صمغ‌ها همواره رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت. تاثیر صمغ زانتان نسبت به صمغ کربوکسی متیل سلولز در ارتباط با کاهش جذب روغن و حفظ رطوبت در سطوح مورد آزمایش بیشتر بود. بنابراین، در مجموع استفاده از ترکیب هیدروکلوئیدی صمغ زانتان به میزان ۰/۵ درصد می‌تواند موجب کاهش جذب روغن از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب و افزایش عمر مفید روغن، حفظ شکل و پایداری محصول، بهبود خصوصیات تغذیه‌ای و سلامت محصول گردد. همچنین، از طرفی استفاده از صمغ کربوکسی متیل سلولز به میزان ۰/۵ درصد به تنهایی می‌تواند موجب بهبود نرمی ارگانولپتیکی و کیفیت حسی بافت و حجم بیشتر محصول گردد. کاربرد همزمان صمغ زانتان و کربوکسی متیل سلولز رفتاری تحت تاثیر صمغ زانتان نشان داد. صمغ زانتان اثرات مطلوبی در کاهش جذب روغن داشت و با توجه به اینکه صمغ زانتان ارزان قیمت است؛ در کارهای تحقیقاتی بهبود مطلوبیت اثرات آن روی حجم محصول می‌تواند به همراه حجم‌دهنده‌ها یا سایر ترکیبات هیدروکلوئیدی می‌تواند بیشتر بررسی گردد.

بد طعمی^۱ محصول و کاهش مطلوبیت برای مصرف‌کنندگان می‌شود. بنابراین تلاش در جهت کاستن از مقدار چربی موجود در غذاهای سرخ کردنی نسبت به سایر خواص کیفی اهمیت زیادی دارد. به طور کلی پژوهشگران بیان کردند نقش ترکیبات هیدروکلوئیدی در مواد غذایی سرخ کردنی علاوه بر کاهش جذب روغن شامل حفظ شکل و پایداری محصول طی فرآیند، کاهش افت مواد جامد از سطح محصول در طی سرخ کردن و بهبود خصوصیات ارگانولپتیکی محصول می‌باشد. حفظ مواد فراری که برای عطر و طعم ماده غذایی مناسب می‌باشند و هم چنین بهبود ویژگی ساختاری پس از فرآیند و جلوگیری از شکنندگی و آسیب‌های فیزیکی در زمان نگهداری و حمل و نقل ماده غذایی از دیگر اهداف استفاده از این ترکیبات می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر دو نوع صمغ زانتان و کربوکسی متیل سلولز و نسبت‌های ترکیبی آن‌ها بر خصوصیات کیفی دونات بررسی شد. با

منابع

- Akdeniz, N., Sahin, S., and Sumnu, G. (2005). Effects of different batter formulations on the quality of deep-fat-fried carrot slices. *European Food Research and Technology*, 221(1-2), 99-105.
- AOAC. (1995). Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, Unites States.
- Ashwini, A., Jyotsna, R., and Indrani, D. (2009). Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 700-707.
- Bennion, E. B., and Bamford, G. S. T. (1997). The technology of cake making. Springer Science and Business Media.
- Bingol, G., Zhang, A., Pan, Z., and McHugh, T. H. (2012). Producing lower-calorie deep fat fried French fries using infrared dry-blanching as pretreatment. *Food chemistry*, 132(2), 686-692.
- Blumenthal, M.M. (1991). A new look at the chemistry and physics of deep fat frying. *Journal of Food Technology*. 45: 68-71.
- Blumenthal, M.M. (2001). A New Look at Frying Science. *Cereals Foods World*. 46: 352-354.
- Bouchon, P. B., Aguilera, J. M., and Pyle, D. L. (2003). Structure oil absorption relationships during deep fat frying. *Journal of Food science*, 68(9), 2711-2716.
- Dadali, G., Kılıç Apar, D., and Özbek, B. (2007). Color change kinetics of okra undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25(5), 925-936.
- Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G., and Velasco, J. (2000). Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(8-9), 521-528.
- Dueik, V., Robert, P., and Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119(3), 1143-1149.
- Dueik, V., Sobukola, O., and Bouchon, P. (2014). Development of low-fat gluten and starch fried matrices with high fiber content. *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 6-11.
- Funami, T., Funami, M., Tawada, T., and Nakao, Y. (1999). Decreasing oil uptake of doughnuts during deep-fat frying using curdlan. *Journal of Food Science*, 64(5), 883-888.
- Gamble, M. H., Rice, P., and Selmán, J. D. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from cv Record UK tubers. *International Journal of Food Science and Technology*, 22(3), 233-241.
- Kante-Traore, H., Sawadogo-Lingani, H., Parkouda, C., Samadoulougou-Kafando, J. P., and Dicko, M. H. (2018). Mango doughnuts technology process for innovative prevention of post-harvest loss of mango fruits in Burkina Faso. *African Journal of Food Science*, 12(4), 63-72.
- Kim, B. K., Chun, Y. G., Cho, A. R., and Park, D. J. (2012). Reduction in fat uptake of doughnut by microparticulated wheat bran. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 987-995.

- Kohajdová, Z., and Karovičová, J. (2009). Application of hydrocolloids as baking improvers. *Chemical Papers*, 63(1), 26-38.
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., and Schmidt, Š. (2009). Significance of emulsifiers and hydrocolloids in bakery industry. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), 46-61.
- Kwinda, O., Onipe, O. O., and Jideani, A. I. (2018). The effect of oat bran and psyllium husk fibre on oil reduction and some physicochemical properties of magwinya—a deep-fried dough. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 247-254.
- Lee, J. S., Kim, B. K., Kim, K. H., and Park, D. J. (2008). Preparation of low-fat uptake doughnut by dry particle coating technique. *Journal of Food Science*, 73(3), E137-E142.
- Lim, S. M., Kim, J., Shim, J. Y., Imm, B. Y., Sung, M. H., and Imm, J. Y. (2012). Effect of poly-γ-glutamic acids (PGA) on oil uptake and sensory quality in doughnuts. *Food Science and Biotechnology*, 21(1), 247-252.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
- Melito, H., and Farkas, B. E. (2013). Physical properties of gluten-free donuts. *Journal of Food Quality*, 36(1), 32-40.
- Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in food science and technology*, 14(9), 364-373.
- Moreira, R. G., and Barrufet, M. A. (1996). Spatial distribution of oil after deep-fat frying of tortilla chips from a stochastic model. *Journal of Food Engineering*, 27(3), 279-290.
- Moreno, M. C., Brown, C. A., and Bouchon, P. (2010). Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products. *Journal of Food Engineering*, 101(2), 179-186.
- Nsabimana, P., Powers, J. R., Chew, B., Mattinson, S., and Baik, B. K. (2018). Effects of deep-fat frying temperature on antioxidant properties of whole wheat doughnuts. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 665-675.
- Priya, R., Singhal, R. S., and Kulkarni, P. R. (1996). Carboxymethylcellulose and hydroxypropylmethylcellulose as additives in reduction of oil content in batter based deep-fat fried boondis. *Carbohydrate Polymers*, 29(4), 333-335.
- Rodge, A. B., Sonkamble, S. M., Salve, R. V., and Hashmi, S. I. (2012). Effect of hydrocolloid (guar gum) incorporation on the quality characteristics of bread. *Journal of Food Process Technol*, 3(2), 133-120.
- Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., and Dalla Rosa, M. (2009). Image characterization of potato chip appearance during frying. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 487-494.
- Ross, K. A., and Scanlon, M. G. (2004). A fracture mechanics analysis of the texture of fried potato crust. *Journal of food engineering*, 62(4), 417-423.
- Sabbaghi, H. (2021). Production of sugar-free doughnut by replacing sugar with dietary sweeteners of stevia, erythritol and maltodextrin. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 17(4), 451-472.
- Sabbaghi, H., Ziaifar, A. M., and Kashaninejad, M. (2018). Fractional conversion modeling of color changes in apple during simultaneous dry-blanching and dehydration process using intermittent infrared irradiation. *Iranian Journal Food Science and Technology Research*, 14(2), 383-397.
- Sabbaghi, H., Ziaifar, A. M., and Kashaninejad, M. (2019). Design of fuzzy system for sensory evaluation of dried apple slices using infrared radiation. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 77-89.
- Sabbaghi, H., Ziaifar, A. M., Sadeghi Mahoonak, A., Kashaninejad, M., and Mirzaei, H. (2014). Estimation of convective heat transfer coefficient as function of the water loss rate during frying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 1394(11), 473-484.
- Sabbaghi, H., Ziaifar, A. M., Sadeghi, A. R., Kashaninejad, M., and Mirzaei, H. (2016). Kinetic modeling of color changes in french fries during frying process. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(1), 65-76.
- Saguy, I. S., and Pinthus, E. J. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. *Food technology (Chicago)*, 49(4), 142-145.
- Sahin, S., Sumnu, G., and Altunakar, B. (2005). Effects of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14), 2375-2379.
- Sakhale, B. K., Badgujar, J. B., Pawar, V. D., and Sananse, S. L. (2011). Effect of hydrocolloids incorporation in casing of samosa on reduction of oil uptake. *Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 769.
- Sarraf, M., Sani, A. M., and Atash, M. M. S. (2017). Physicochemical, organoleptic characteristics and image analysis of the doughnut enriched with oleaster flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13021.
- Shih, F. F., Daigle, K. W., and Clawson, E. L. (2001). Development of low oil-uptake donuts. *Journal of Food Science*, 66(1), 141-144.
- Suárez, R. B., Campanone, L. A., Garcia, M. A., and Zaritzky, N. E. (2008). Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. *Journal of Food Engineering*, 84(3), 383-393.
- Varela, P., & Fiszman, S. M. (2011). Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1801-1812.
- Vélez-Ruiz, J. F., and Sosa-Morales, M. E. (2003). Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. *International Journal of Food Properties*, 6(2), 341-353.

- Wojdyło, A., Figiel, A., and Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(4), 1337-1343.
- Ziaifar, A. M. and Sabbaghi, H. (2018). Frying process engineering, chapter 7: oil uptake reduction in frying process. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press.



Application of hydrocolloid compounds (xanthan and carboxymethylcellulose) in doughnut formulation for reducing oil uptake

H. Sabbaghi*

Received: 2020.07.07

Accepted: 2020.11.01

Introduction: Doughnuts are fried foods that absorb significant amounts of oil, and commercial doughnuts made from wheat flour typically contain 24 to 26 percent oil. The use of additives, especially hydrocolloid compounds, in reducing the oil uptake in doughnuts is a practical method because there is no need to make changes in the industrial design of the equipment. Usually, the level of these compounds used to achieve the desired properties in food systems is less than 2% dry basis. When these compounds are added to the dough, they form a gel as soon as possible, which has a high water holding capacity in contact with hot oil, and this will be effective in maintaining and controlling the moisture content of the product and preventing oil penetration. Controlling moisture outflow from the product reduces the rate of moisture migration and compounds from the food into the frying oil, and subsequent peroxidation reactions in the oil consumed are reduced, thus increasing the useful life of the oil. Therefore, in this study, the effect of xanthan gum and carboxymethylcellulose on doughnut quality characteristics was studied.

Materials and Methods: For this purpose, in the formulation of doughnut dough, xanthan gums, carboxymethylcellulose and a combination of these two gums (50:50) were used at the rate of 0.5, 1 and 1.5 percent based on the weight of the dry matter of the dough. The doughnut dough was prepared and molded. The fermentation was carried out for 30 minutes under similar industrial conditions (40°C and 40% humidity). Then the frying process at 180°C, icing and packaging were performed, respectively. The moisture content of the dough and doughnuts, the oil uptake of doughnut, density, color and the porosity ratio of the samples were measured. Also, the qualitative characteristics of shelf life, including soft tissue assessment, non-absorption of icing and non-growth of mold were investigated within 14 days. Statistical analysis was performed in a completely randomized design ($p < 0.05$).

Results and Discussion: The results showed that, the moisture content of the samples always increased with elevating the percentage of hydrocolloid compounds. Oil absorption decreased with increasing gum percentage and the lowest oil content was observed in the samples containing xanthan gum. Unlike xanthan, the density decreased and the volume increased with elevating the percentage of carboxymethylcellulose gum. Therefore, the highest porosity and softness of the tissue were found in samples containing carboxymethylcellulose. The brightness parameter (L^*) was higher in samples containing xanthan, which could be due to the higher moisture content. The red parameter (a^*) was also higher in the samples containing xanthan, which due to the higher compression of the product, a relatively more red pigment was observed with increasing xanthan level. The yellowness parameter (b^*) in xanthan-containing samples was lower due to reduced oil absorption. The intensity of the color changes (dE) decreased as the percentage of gums increased. Non-absorption of icing was less in hard sample containing xanthan, which could be due to xanthan's competition with gluten in suction of surface water. Mold growth was not observed for any treatment. Overall, the best additive ratio of xanthan gum was 0.5% in terms of reduced oil absorption. Also, the use of carboxymethylcellulose at the level of 0.5% alone could improve the softening of the product texture and made the doughnut with larger volume. Simultaneous use of xanthan gum and carboxymethylcellulose showed behavior under effect of xanthan gum.

In general, xanthan gum was more effective than carboxymethylcellulose gum in reducing oil uptake and moisture retention at test levels. Xanthan has shown the greatest reduction in oil absorption due to its thermal gelling and thickening properties, as it has a high capacity for water retention when product is in contact with hot oil. Since the xanthan gum is inexpensive, its effects on product volume can be further investigated in research work, along with bulking agents or other hydrocolloid compounds.

Keywords: Oil uptake, Doughnut, Frying, Xanthan.

1. Ph D. Graduated of Food Materials and Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

(*Corresponding Author Email: hassansabbaghi@gmail.com)

Contents

Effect of roasting conditions and packaging on physicochemical properties of wild almond (<i>Amygdalus scoparia</i> L.) during storage	687
M. A. Nazemi, S. Ansari	
Identification of chemical compounds, antioxidant potential, and antifungal activity of <i>Thymus daenensis</i> essential oil against spoilage fungi causing apple rot	700
M. Rahmati-Joneidabad, B. Alizadeh Behbahani	
Production of Masghati sweets formulation containing <i>Ganoderma locidum</i> by replacing sucrose and wheat starch with sucralose-isomalt and potato starch by response surface methodology	716
M. Heidarian, M. Goli	
Comparison of specific energy and efficiency of solar dryer under the influence of collector type and investigation of some characteristics of dried tomatoes	728
H. Samimi Akhijahani	
The effect of chitosan-whey protein based edible coating containing bionanocomposite material and <i>Zataria multiflora</i> essential oil on UF-Feta type cheese shelf life	745
M. Gohargani, H. Lashkari, A. R. Shirazinejad	
Effect of fermentation by <i>Lactobacillus reuteri</i> and <i>Lactobacillus acidophilus</i> on antioxidant activity of quinoa extract	759
R. Tahmasbi, M. Mirzaei, M. R. Khani	
Quality characteristics and fatty acid profile of Siahmezgi cheese fortified by encapsulated fish oil	772
E. Nejat Pirsaraii, E. Zakipour Rahimabadi, A. Babakhani, E. Aminpour Daphchahi	
Evaluation of temperature and storage time on oxidation of peanut butter	783
M. Ravaghi, A. Khodabakhshian	
Effect of nano-emulsion coating of dracocephalum kotschyi essential oil in chitosan on quality of sprouted wheat using response surface methodology (RSM)	802
N. Najafi, H. Abbasi	
The effect of <i>Alyssum homolocarpum</i> seed gum on physicochemical properties of powdered doogh produced by spray drying method	817
N. Bazazian, A. Arianfar	
Qualitative evaluation of virgin olive oil produced from different olive cultivars in Darab-Shiraz region	829
L. ArjmandFard, Sh. Shahriari, M. Ghavami	
Investigating of production conditions of pastilles by using gelatin extracted from kilika fish and investigating its physicochemical, rheological and sensory properties in comparison with commercial gelatin (cow)	847
E. Mobini, L. Nateghi, M. R. Eshaghi	
Antioxidant activity stability of Lentil protein hydrolysate against heat and pH treatments	861
R. Alizadeh Firoozeh, M. Mirzaei, V. Fadaei Noghani	
Evaluation of antibacterial and antioxidant properties of Coriander seed essential oil and investigation of oxidative stability of soybean oil containing Coriander essential oil	873
N. Ghazanfari, S. A. Mortazavi, F. Tabatabaei Yazdi, M. Mohammadi	
Investigating the effect of carvacrol on physical, mechanical and antimicrobial properties of bio-hydrogel film based on filter flour obtained from wheat milling	887
M. Mossavi, M. Kashiri, Y. Maghsoudlou, M. Khomiri, M. Alami	
Effects of lettuce(<i>sativa Lactuca</i>) and (<i>Foeniculum vulgare</i>) powder as a natural source of nitrate on the physical, chemical and microbiological properties and sensory evaluation of vacuum packed sausage	903
Z. Yousofi Mojir, A. Rahman, M. Otadi	
Preparation and formulation of functional half-Fat spread butter with micro-emulsions containing omega3	918
Sh. Mirehsanpazir, M. Gharachorloo, Gh. Asadi	
Application of hydrocolloid compounds (xanthan and carboxymethylcellulose) in doughnut formulation for reducing oil uptake	939
H. Sabbaghi	

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 17

No. 5

2021

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Executive Manager: Shahnoushi, N.

Editor-in-Chief: Tabatabaei yazdi, F

Editorial Board:

Mortazavi, Seyed A.	Prof. in Food Microbiology and
Shahidi, F.	Prof. in Food Microbiology
Habibi najafi, M.	Prof. in Food Microbiology
Razavi, Seyed M. A.	Prof. in Food Engineering
Kashaninejad, M.	Prof. in Food Engineering
Khomeiri, M.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Farhoosh, R.	Prof. in Food Chemistry
Fazli Bazzaz, S.	Prof. in Food Microbiology
Koocheki, A.	Prof. in Food Technology
Mohebbi, M.	Prof. in Food Engineering
Ghanbarzadeh, B.	Prof. in Food Engineering
Alemzadeh, I.	Prof. in Food Biotechnology
Rajabzadeh, GH.	Assoc. Prof. in Nanotechnology
Heydarpour, M.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Ghoddusi, H. B.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Khosravidarani, K.	Prof. in Food Biotechnology
Abbaszadegan, M.	Prof. in Food Microbiology
Mohammadifar, M. A.	Assoc. Prof. in Food Engineering
Vosoughi, M.	Prof. in Food Biotechnology

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran.

Address: The Iranian Food Science & Technology Research Journal, Scientific Publication Office, Food Science and Technology Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

P.O.BOX: 91775- 1163

Phone: (98)511-8795618-20(321)

Fax: (98)511-8787430

E-Mail: ifstrj@um.ac.ir

Web Site: http://jm.um.ac.ir/index.php/food_tech/index

This journal is indexed in ISC, SID, and MAGIRAN.



Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol.17

No.5

2022

ISSN:1735-4161

Contents

- Effect of roasting conditions and packaging on physicochemical properties of wild almond (*Amygdalus scoparia* L.) during storage 687**
M. A. Nazemi, S. Ansari
- Identification of chemical compounds, antioxidant potential, and antifungal activity of *Thymus daenensis* essential oil against spoilage fungi causing apple rot 700**
M. Rahmati-Joneidabad, B. Alizadeh Behbahani
- Production of Masghati sweets formulation containing *Ganoderma locidum* by replacing sucrose and wheat starch with sucralose-isomalt and potato starch by response surface methodology 716**
M. Heidarian, M. Goli
- Comparison of specific energy and efficiency of solar dryer under the influence of collector type and investigation of some characteristics of dried tomatoes 728**
H. Samimi Akhijahani
- The effect of chitosan-whey protein based edible coating containing bionanocomposite material and *Zataria multiflora* essential oil on UF-Feta type cheese shelf life 745**
M. Gohargani, H. Lashkari, A. R. Shirazinejad
- Effect of fermentation by *Lactobacillus reuteri* and *Lactobacillus acidophilus* on antioxidant activity of quinoa extract 759**
R. Tahmasbi, M. Mirzaei, M. R. Khani
- Quality characteristics and fatty acid profile of Siahmezgi cheese fortified by encapsulated fish oil 772**
E. Nejat Pirsaraii, E. Zakipour Rahimabadi, A. Babakhani, E. Aminpour Daphchahi
- Evaluation of temperature and storage time on oxidation of peanut butter 783**
M. Ravaghi, A. Khodabakhshian
- Effect of nano-emulsion coating of *dracocephalum kotschyi* essential oil in chitosan on quality of sprouted wheat using response surface methodology (RSM) 802**
N. Najafi, H. Abbasi
- Continue Content in cover**