

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

- ۴۲۳..... اثر پودر پنیر و امواج فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی کیک روغنی بدون گلوتن
بهاره صحرانیان- فاطمه پورحاجی- بهروز علیزاده بهبهانی
- ۴۳۷..... بهینه‌یابی برهمکنش پروتئین آب پنیر-صمغ دانه شاهی به روش سطح پاسخ و بررسی خواص کف‌زایی نمونه بهینه
زهره خلوصی- مصطفی مظاهری طهرانی- سید محمدعلی رضوی
- ۴۵۱..... تولید دونات فاقد شکر با جایگزینی توسط شیرین‌کننده‌های رژیمی استویا، اریتریتول و مالتودکسترین
حسن صباغی
- ۴۷۳..... جدایش ناخالصی‌ها از دانه‌های خاکشیر به روش الکترواستاتیکی در بستر سیال (تریبواپروالکترواستاتیک)
مجتبی افشاری‌پور- هادی صمیمی اخچجانی- کاظم جعفری نعیمی
- ۴۸۵..... مقایسه ویژگی‌های تکنولوژیکی جدایه‌های حاصل از ماست سنتی خراسان با آغازگر تجاری در تولید ماست
فاطمه برمک- محمدباقر حبیبی نجفی- رضا حاجی محمدی فریمانی- محمدرضا عدالتیان
- ۵۰۱..... تاثیر پوشش ژل آلونورا و کنسانتره پروتئین آب پنیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی فیله مرغ سرخ شده
خدیجه سادات طباطبایی- محمد فاضل
- بررسی تاثیر هیدروکلئید کنجاک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی سوریمی تولید شده از
دو ماهی سارم (*Scomberoides commersonnianus*) و حسون (*Saurida tumbil*)
۵۱۷.....
درویش جعفرپور- پریسا عطایی
- ۵۳۳..... بررسی خواص ضد میکروبی و قابلیت زنده‌مانی *Lactobacillus plantarum* LZ95 در شرایط اسیدی و صفراوی
آله عیسوندجیدری- حسین جوینده- محمد حاجی- بهروز علیزاده بهبهانی- محمد نوشاد
- بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دانه ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia Villosa*) و بررسی اثر جری‌گیری و تغییرات pH
بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد حاصل از آن
۵۴۳.....
بهداد شکرالهی یانچشمه- محمدعلی حصاری‌نژاد- زهرا زمانی- نگین یوسفی- آنا عبدالشاهی- اشکان جیلی جوان
- تاثیر غنی‌سازی با پودر پروتئین ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) بر پروفایل اسید
آمین، ترکیبات شیمیایی و خصوصیات حسی بیسکویت
۵۵۹.....
الهام امین‌پور دافچاهی- اسحق زکی‌پور رحیم‌آبادی- هانیه رستم‌زاد- انسیه نجات پیرسرای
- ارزیابی تاثیر استفاده توأم از تخمیر کنترل شده جو دوسر و پودر عناب بر بافت و فعالیت آنزیمی اکسیدانی نان
گندم حجیم تولیدی
۵۶۹.....
فهمیه حاجی‌نیا- علیرضا صادقی- علیرضا صادقی ماهونک- مرتضی خمیری- یحیی مقصودلو- علی مؤیدی

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

مهر - آبان ۱۴۰۰

شماره ۴

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 محمداقبر 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

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه 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

- ۴۲۳ اثر پودر پنیر و امواج فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی کیک روغنی بدون گلوتن
بهاره صحرانیان- فاطمه پورحاجی- بهروز علیزاده بهبهانی
- ۴۳۷ بهینه‌یابی برهمکنش پروتئین آب پنیر-صمغ دانه شاهی به روش سطح پاسخ و بررسی خواص کف‌زایی نمونه بهینه
زهرآ خلوصلی- مصطفی مظاهری طهرانی- سید محمدعلی رضوی
- ۴۵۱ تولید دونات فاقد شکر با جایگزینی توسط شیرین‌کننده‌های رژیمی استویا، اریتریتول و مالتودکستروزین
حسن صباغی
- ۴۷۳ جدایش ناخالصی‌ها از دانه‌های خاکشیر به روش الکترواستاتیکی در بستر سیال (تری‌بایروالکترواستاتیک)
مجتبی افشاری‌پور- هادی صمیمی اخیجهانی- کاظم جعفری نعمی
- ۴۸۵ مقایسه ویژگی‌های تکنولوژیکی جدایه‌های حاصل از ماست سنتی خراسان با آغازگر تجاری در تولید ماست
فاطمه برمک- محمدباقر حبیبی نجفی- رضا حاجی محمدی فریمانی- محمدرضا عدالتیان
- ۵۰۱ تاثیر پوشش ژل آلون‌ه‌ورا و کنسانتره پروتئین آب پنیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی فیله مرغ سرخ شده
خدیجه سادات طباطبایی- محمد فاضل
- ۵۱۷ بررسی تاثیر هیدروکلورید کنجاک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی سوریمی تولید شده از دو ماهی سارم (*Scomberoides commersonnianus*) و حسون (*Saurida tumbil*)
درویش جعفرپور- پریسا عطایی
- ۵۳۳ بررسی خواص ضد میکروبی و قابلیت زنده‌مانی *Lactobacillus plantarum* LZ95 در شرایط اسیدی و صفراوی
الهه عیسوندحیدری- حسین جوینده- محمد حجتی- بهروز علیزاده بهبهانی- محمد نوشاد
- ۵۴۳ بررسی ویژگی‌های فیزیکی دانه ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia Villosa*) و بررسی اثر چربی‌گیری و تغییرات pH بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد حاصل از آن
بهداد شکرالهی یانچشمه- محمدعلی حصاری‌نژاد- زهرا زمانی- نگین یوسفی- آنا عبدشاهی- اشکان جلی جوان
- ۵۵۹ تاثیر غنی‌سازی با پودر پروتئین ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) بر پروفایل اسید آمینه، ترکیبات شیمیایی و خصوصیات حسی بیسکویت
الهام امین‌پور دافچاهی- اسحق زکی‌پور رحیم‌آبادی- هانیه رستم‌زاد- انسیه نجات پیرسرای
- ۵۶۹ ارزیابی تاثیر استفاده توأم از تخمیر کنترل شده جو دوسر و پودر عناب بر بافت و فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی نان گندم حجیم تولیدی
فهیمة حاجی‌نیا- علیرضا صادقی- علیرضا صادقی ماهونک- مرتضی خمیری- یحیی مقصودلو- علی مؤیدی
- ۵۸۳ بررسی ویژگی‌های کیفی، بافتی و حسی پنیر سفید ایرانی کم‌چرب حاوی مخلوط صمغ دانه ریحان با زانتان و گوار
محمدعلی حصاری‌نژاد- عاطفه عارفخانی- علی رافع- فاطمه جاویدی- علیرضا صادقیان
- ۵۹۵ بررسی فرآیند خشک شدن موسیلاژ دانه مرو (*Salvia macrosiphon* L.) با اشعه فروسرخ
غزاله امینی- فخرالدین صالحی- مجید رسولی
- ۶۰۵ بهینه‌سازی خصوصیات آن‌تی‌اکسیدانی عصاره پوسته دانه نارنج استخراج شده به کمک مایکروویو
محمدتقی گل‌مکانی- غلامرضا مصباحی- نصیره علوی- آریتا حسین‌زاده فریودی

- ۶۲۱ تأثیر آرد بلوط و پودر کدو حلوائی بر برخی ویژگی‌های تغذیه‌ای، بیاتی و حسی کیک شکلاتی بدون گلوتن
سمیه دمیرچی - مانیا صالحی‌فر
- ۶۳۱ تجزیه و تحلیل متاژنومیکس جمعیت میکروبی در یک پنیر محلی ایرانی
نفیسه دعوتی - سحر بهرامی
- ۶۴۷ ارزیابی ویژگی‌های پروبیوتیکی و ضدقارچی باکتری اسید لاکتیک غالب جدا شده از خمیر ترش کینوا
الهام روحی - علیرضا صادقی - سید مهدی جعفری - محمد عبدالحسینی - الهام اسدپور
- ۶۵۹ بررسی اثر آنتی‌اکسیدانی عصاره گیاه چویل (*Ferulago angulata*) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی چیپس سیب‌زمینی و روغن حاصل از آن طی زمان ماندگاری
عاطفه ایران‌خواه - لیلا ناطقی - سیمین اسداللهی



مقاله پژوهشی

اثر پودر پنیر و امواج فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی کیک روغنی بدون گلوتن

بهاره صحرانیان^۱ - فاطمه پورحاجی^{۲*} - بهروز عزیزاده بهبهانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲

چکیده

در این تحقیق از پودر پنیر در چهار سطح صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد و امواج فراصوت با شدت صفر، ۳۰ و ۷۰ درصد جهت بهبود کیفیت کیک روغنی بر پایه مخلوطی از آردهای بدون گلوتن برنج (۷۰ درصد)، کینوا جوانه زده (۱۵ درصد) و سیب زمینی (۱۵ درصد) استفاده شد و رطوبت، حجم مخصوص، سفتی بافت، رنگ پوسته و بافت درونی، ویژگی‌های حسی (فرم و شکل، خصوصیات سطح بالایی و پائینی، پوک و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، عطر و مزه و پذیرش کلی)، تخلخل و ریز ساختار نمونه‌های تولیدی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد، افزایش پودر پنیر و شدت امواج فراصوت سبب افزایش کیک از ۱۷/۹ درصد (نمونه شاهد) به ۲۵/۱ درصد (نمونه ۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۷۰ درصد) شد. این در حالی بود که نمونه حاوی ۶ درصد پودر پنیر و تحت تأثیر امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد از حجم مخصوص (۴/۴ سانتی متر مکعب بر گرم) و تخلخل (۳۱/۱ درصد) بیشتر و سفتی بافت کمتری (به ترتیب ۳/۴ و ۵/۳ نیوتن در بازه زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت) در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار بود. همچنین نتایج نشان داد، افزایش پودر پنیر تا ۶ درصد سبب افزایش مؤلفه L^* (از ۴۴/۹ به ۵۳/۵) و تا سطح ۹ درصد سبب افزایش مؤلفه a^* (از ۲/۶ به ۸/۴) پوسته کیک‌های بدون گلوتن تولیدی شد. از سوی دیگر نتایج حاکی از آن بود که افزایش درصد شدت امواج فراصوت منجر به افزایش مؤلفه رنگی L^* (از ۶۰/۳ به ۷۷/۹) و کاهش مؤلفه رنگی b^* (از ۱۷/۳ به ۷/۹) بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن شد. یافته‌های به دست آمده از ارزیابی حسی و امتیاز پذیرش کلی نیز حاکی از برتری نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر تحت تأثیر امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد به ترتیب با امتیاز ۴/۲ و ۴/۴ بود. همچنین بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی و تصاویر دودویی نمونه‌های برتر (ریزساختار- میکروساختار) گواه انسجام و پیوستگی ساختار درونی و شبه شبکه موجود در کیک‌های بدون گلوتن حاوی پودر پنیر در مقایسه با شاهد بود.

واژه‌های کلیدی: بدون گلوتن، امواج فراصوت، کینوا جوانه زده، تخلخل، ریزساختار.

مقدمه

یکی از جذابیت‌های پودرهای لبنی در محصولات بدون گلوتن، ارزش تغذیه‌ای آن به لحاظ کلسیم بالا، پروتئین و اسید آمینه‌های ضروری (لیزین، متیونین و تریپتوفان) است (Moor et al, 2004). تحقیقات نشان می‌دهد پودرهای لبنی با تشکیل فیلم‌های بین سطحی به تقویت شبکه گلوتهنی فرآورده‌های نانوائی حاوی آرد گندم و شبه شبکه گلوتهنی در محصولات بدون گلوتن کمک می‌کنند و قابلیت افزایش نگهداری آب در خمیر و محصول نهایی را دارند و از این طریق سبب بهبود ویژگی‌های ظاهری و حسی و به تأخیر انداختن بیانی این دسته از محصولات می‌شوند (Stathopoulos, 2008). بیماری سلیاک منجر به سوء جذب مواد مغذی و آسیب مخاط روده می‌شود. تغذیه این دسته از افراد باید به صورت مدام

العمر بدون گلوتن باشد (Niland & Cash, Skodje et al, 2018). گلوتن تحت عنوان پروتئین ساختمانی جهت تولید نان، کیک، کلوچه و بیسکوئیت یاد می‌شود و فقدان آن در فرآورده‌های نانوائی مشکلات زیادی را ایجاد می‌کند (Morreale et al, 2018). بهترین جایگزین گلوتن در محصولات نانوائی انواع هیدروکلوئیدها هستند و در این زمینه مطالعات زیادی انجام شده است (Ziobro: Liu et al, 2018; Crocket et al., 2011; Maria et al., 2016; et al, 2016; Onyango et al., 2010). اما امروزه برخلاف گذشته انواع مختلف محصولات نانوائی بدون گلوتن در بازار داخلی و خارجی عرضه می‌شود اما تنها موردی که بین این دسته از محصولات رقابت ایجاد می‌کند کیفیت و تنوع محصول به لحاظ ظاهر و طعم است. مصرف لبنیات به ویژه لبنیات کم لاکتوز برای مبتلایان به سلیاک بلامانع بود و تا

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(Email: pourhajif@yahoo.com) * - نویسنده مسئول

۱- گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.
۲- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مواد و روش‌ها

آرد سیب‌زمینی با ۱۰/۱۷ درصد رطوبت، ۱/۰۴ درصد خاکستر، ۱۰/۴۹ پروتئین، ۷۸/۳ درصد نشاسته و آرد برنج با ۱۰/۵ درصد رطوبت، ۰/۴۴ درصد خاکستر، ۷/۳۶ درصد پروتئین، ۸۱/۶ درصد نشاسته و صفر درصد گلوتن از یک عطاری معتبر در سطح شهر تهیه گردید. شکر، روغن مایع، تخم‌مرغ و بیکنینگ پودر از شرکت‌های معتبر خریداری شدند. شربت اینورت براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۵۵۳ تهیه شد. صمغ زانتان و گوار از شرکت ریحان گام (گرگان)، وانیل از شرکت رودیا (فرانسه)، دانه کینوا (با ۶۶/۹ درصد نشاسته، ۶/۱ درصد چربی، ۱۶/۷ درصد پروتئین و ۱۰/۱ درصد رطوبت) از شرکت کیان فود (تهران-ایران) و پودر پنیر از یک کارخانه معتبر تولید اسنک و پفک خریداری شدند.

تهیه آرد کینوا جوانه‌زده

۵۰۰ گرم دانه کینوای در آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خیسانده شد. پس از رسیدن رطوبت دانه‌ها به ۴۲ درصد (مناسب جوانه‌زنی) آب اضافی حذف گردید و دانه‌ها در اتاقک جوانه‌زنی (با ابعاد ۳۸×۲۲×۹) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ روز قرار گرفتند. دانه‌های جوانه‌زده جهت رسیدن به رطوبت ۱۰ درصد در خشک‌کن هوای گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تا قرار گرفتن و پس از خشک شدن به پودر تبدیل شده و از الک با مش ۳۰ عبور کردند (Mamedi et al., 2017).

تهیه خمیر و کیک

خمیر کیک حاوی ۷۰ گرم آرد برنج، ۱۵ گرم آرد سیب‌زمینی و ۱۵ گرم آرد کینوا جوانه‌زده (۱۰۰ گرم آرد)، ۵۲ گرم شکر، ۵۰ گرم آب، ۳۶ گرم روغن، ۳۶ گرم تخم‌مرغ، ۱۲ گرم شربت اینورت، ۲ گرم بیکنینگ پودر، ۰/۲ گرم وانیل، ۱/۵ گرم گوار و ۰/۳ گرم زانتان و حاوی سطوح متفاوت پودر پنیر (صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد براساس وزن آرد) بود. در ابتدا روغن، شکر و تخم‌مرغ با استفاده از یک همزن برقی (بونیتو، HM 200K) با دور کم به مدت ۵ دقیقه مخلوط شدند تا یک کرم حاوی کف ایجاد شد. سپس طی ۲ مرحله آب+ شربت اینورت (مرحله اول) و بیکنینگ پودر+ آرد+ پودر پنیر (مرحله دوم) به مخلوط قبلی اضافه شد. در نهایت خمیر آماده شده حاوی تمام ترکیبات موجود در فرمولاسیون کیک روغنی بر پایه مخلوطی از آردهای بدون گلوتن تحت تأثیر امواج فراصوت (با شدت صفر، ۳۰ و ۷۰ درصد) به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت (جدول ۱). دستگاه تولید کننده امواج فراصوت (UP200 H، Hielscher، آلمان) بود و زمان و شدت اعمال امواج فراصوت مطابق با پژوهش Jalali و همکاران (۲۰۲۰) در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی خمیر، ۱۰۰ گرم از آن توسط یک قیف پارچه‌ای به قالب

حدودی می‌تواند تأمین‌کننده مواد مغذی مورد نیاز آن‌ها باشد. در این زمینه Stathopoulos و Okennedy (۲۰۰۸) براساس نتایج خود گزارش کردند با افزایش غلظت کلسیم در کازئین شیر و افزودن آن به آردهای بدون گلوتن می‌تواند تا حدودی جایگزین پیوندهای کووالانسی دی سولفیدی در خمیر آرد گندم باشد به‌طوری که شبه شبکه تشکیل شده مستحکم و قابلیت جذب آب بالایی داشته باشد. Moor و همکاران (۲۰۰۴) فرمولاسیون حاوی ۳۷/۵ درصد پودر شیر پس چرخ جهت تولید نان بدون گلوتن ارائه نمودند. در این تحقیق نمونه حاوی پودر شیر پس چرخ دارای شبه ساختاری مشابه شبکه گلوتهی در مغز نان گندم بود. نتایج Gallagher و همکاران (۲۰۰۳) در زمینه محصولات بدون گلوتن نشان داد، پودرهای لبنی با پروتئین بالا و لاکتوز کم باعث افزایش رطوبت محصول نهایی و بهبود ظاهر عمومی و حجم نمونه‌های تولیدی شدند. پودرهای لبنی در سفیدتر شدن بافت درونی و تیرگی پوسته نان بدون گلوتن مؤثر بودند. همچنین با توجه به کارایی امواج فراصوت در محصولات نانویی به‌نظر می‌رسد بتوان از این فناوری نوین جهت ارتقاء کیفیت و بازاریابی محصولات بدون گلوتن به‌ویژه به لحاظ بافت، قابلیت جویدن و احساس دهانی بهره برد. Tan و همکاران (۲۰۱۱)، Sujka و Jamroz (۲۰۱۳) و Sit و همکاران (۲۰۱۳) نتایجی نظیر تسریع اکسیداسیون، افزایش هوادهی، حجم، تخلخل، رطوبت، کاهش سفتی و بهبود رنگ فراورده‌های نانویی را با کاربرد امواج فراصوت گزارش کردند.

لازم به ذکر است علت انتخاب آرد سیب‌زمینی در این تحقیق به دلیل ایجاد تنوع و طعم متفاوت در کیک و ارائه یک محصول بدون گلوتن جدید و آرد کینوا به دلیل ارزش غذایی بالا به‌خصوص به لحاظ تعادل آمینواسیدها بود. همچنین لازم به ذکر است غلات و شبه‌غلات جوانه‌زده حاوی آنزیم آلفا‌آمیلاز هستند که اثرات مثبتی بر رنگ و بافت محصول نهایی بخصوص در محصولات بدون گلوتن دارد. همچنین غلات و شبه‌غلات جوانه‌زده به لحاظ محتوای پروتئین، قندهای محلول، چربی (اسیدهای چربی نظیر اسید لینولئیک و اسید لینولئیک)، املاح (فسفر و کلسیم) و ویتامین‌ها نظیر کاروتن، ویتامین E، B₁، B₆، فولیک اسید و پنتوتنیک اسید غنی‌تر هستند که به بهبود ارزش تغذیه‌ای محصولات بدون گلوتن کمک می‌کنند (Lyimo et al., 2004; Panfil et al., 2014; Sharma & Gujral, 2010). بنابراین با توجه به نیاز بیماران سیلیاکی به محصولات نانویی بدون گلوتن با ویژگی‌های بافتی و ظاهری مطلوب و در عین حال مغذی، هدف از انجام این پژوهش بهبود ظاهر، طعم و بافت کیک بدون گلوتن بر پایه مخلوط آرد کینوا جوانه زده، آرد برنج و سیب‌زمینی با استفاده پودر پنیر در سطوح صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد و امواج فراصوت با شدت صفر، ۳۰ و ۷۰ درصد به مدت ۵ دقیقه بود.

کیک کاغذی‌نسوز با قطر و ارتفاع ۴ سانتی‌متر انتقال یافت. در انتها پخت کیک در فر طبقه‌ای (ZuccihelliForni، ایتالیا) پخت شد (دمای پخت ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان آن ۱۵ دقیقه بود). سرد شدن کیک در محیط و دمای آزمایشگاه (به مدت ۲ ساعت) انجام شد. نمونه‌های تهیه شده پس از سرد شدن آماده ارزیابی و انجام آزمایشات شدند. تنها چند نمونه در زیب کیک (کیسه‌های پلی‌اتیلنی) جهت اندازه‌گیری رطوبت و سفتی بافت پس از یک هفته قرار گرفت و در دمای محیط نگهداری شد (صحرانیان و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱- تیمارهای مختلف تحت تأثیر افزودن سطوح متفاوت پودر پنیر و اعمال شدت‌های متفاوت امواج فراصوت.

تیمارها	پودر پنیر (%)	شدت امواج فراصوت (%)
۱	-	-
۲	۳	۳۰
۳	۶	۳۰
۴	۹	۳۰
۵	۳	۷۰
۶	۶	۷۰
۷	۹	۷۰

رطوبت

این آزمون ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت براساس روش AACC2000 به شماره ۱۶-۴۴ و با آون‌گذاری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام شد.

ویژگی‌های حسی کیک

بدین منظور ۵ داور با استفاده از آزمون مثلی انتخاب شد و سپس خصوصیات حسی از نظر فرم و شکل، ویژگی‌های سطح بالایی و پائینی، تخلخل، سفتی بافت، قابلیت جویدن و بو و مزه ارزیابی شدند. ویژگی‌های بررسی شده به ترتیب دارای ضریب رتبه‌ای ۴، ۲، ۱، ۲، ۳ و ۳ بودند. ارزیابی شدند. ضریب ارزیابی صفات براساس روش هدونیک پنج نقطه‌ای (۱: بسیار بد، ۲: بد، ۳: متوسط، ۴: خوب و ۵: خیلی خوب) بود. با داشتن این معلومات، پذیرش کلی (که عبارت است مجموع امتیاز تمام ویژگی‌ها پس از اعمال ضرایب تقسیم بر مجموع ضرایب) محاسبه شد.

تخلخل و ریزساختار کیک

پس از ارزیابی تمام ویژگی‌های ذکر شده و معرفی بهترین نمونه تخلخل و زیر ساختار آن در مقایسه با نمونه شاهد قرار گرفت و نمونه برتر به لحاظ ماکرو و میکروساختار با نمونه شاهد (فاقد پودر پنیر و بدون اعمال امواج فراصوت) مقایسه گردید.

به‌منظور ارزیابی میزان تخلخل کیک، از تکنیک پردازش و نرم‌افزار Image J استفاده شد. برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از بافت درونی کیک تهیه گردید و به‌وسیله اسکنر با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری شد و عکس تهیه شده در اختیار نرم افزار قرار گرفت. پس از تهیه

حجم مخصوص

جهت ارزیابی حجم نمونه‌ها از جایگزینی حجم (یک قطعه ۲×۲ سانتی‌متری از مرکز هندسی کیک) با دانه کلزا براساس روش AACC2000 به شماره ۱۰-۷۲ استفاده شد. سپس حجم به‌دست آمده براساس سانتی‌متر مکعب بر وزن قطعه کیک اولیه براساس گرم تقسیم شد. عدد به‌دست آمده به‌عنوان حجم مخصوص گزارش گردید.

بافت

این آزمون ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت ارزیابی با استفاده از دستگاه بافت‌سنج مدل QTS انجام شد. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب با انتهای استوانه‌ای (۲ سانتی‌متر قطر در ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع) با سرعت ۶۰ میلی‌متر در دقیقه از مرکز کیک، به‌عنوان شاخص سفتی محاسبه گردید. نقطه شروع و نقطه هدف به ترتیب ۰/۰۵ نیوتن و ۲۵ میلی‌متر بود (Ronda et al., 2011).

رنگ پوسته و بافت درونی کیک

رنگ پوسته و بافت درونی کیک ۲ ساعت پس از سرد شدن، از طریق تعیین سه شاخص a^* ، b^* و L^* صورت پذیرفت. بدین منظور از تکنیک پردازش و نرم‌افزار Image J استفاده شد. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها ابتدا برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از پوسته و بافت

گرفته شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی ($P < 0.05$) انجام و جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

رطوبت

شکل جدول ۲ نشان دهنده رطوبت کیک‌های بدون گلوتن در بازه زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت است. همانطور که نتایج نشان داد، با افزایش پودر پنیر در فرمولاسیون و افزایش شدت امواج فراصوت بر میزان رطوبت نمونه‌های تولیدی به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزوده شد. نمونه حاوی ۶ و ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود، از بیشترین میزان رطوبت در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار بودند. Grosch و Belitz (۱۹۸۷) به این نکته اشاره نمودند که ترکیبات با محتوای پروتئینی بالا نظیر پودرهای لبنی باعث افزایش ظرفیت نگهداری و حفظ آب در حین فرآیند پخت و پس از آن می‌شوند که به موجب آن رطوبت محصول نهایی نسبت به نمونه فاقد این ترکیبات افزایش می‌یابد.

تصاویر سطح خاکستری^۱ و در ادامه تصاویر دودویی^۲، با فعال کردن قسمت آنالیز نرم‌افزار، درصد تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Barcenas & Rosell, 2006; Sabanis et al., 2008). همچنین جهت تهیه تصویر میکروسکوپ الکترونی و ارزیابی ریز ساختار کیک، نمونه‌های تولیدی (بهترین نمونه و نمونه شاهد) به ابعاد 10×10 میلی‌متر به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس لایه نازکی از نمونه بر روی پایه‌های فلزی از جنس آلومینیوم قرار گرفتند و توسط چسب مایع ثابت شدند. نمونه‌ها توسط دستگاه لایه نشانی طلا، طلاپوش (۲ دقیقه - ۲ میلی بار) شدند. در ادامه تصویربرداری توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) با حداکثر ولتاژ ۱۰ کیلووات و بزرگنمایی $100 \times$ انجام شد (Furlan et al., 2015).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج به‌دست آمده در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار Mini-Tab17 تجزیه و تحلیل شد. بدین ترتیب میانگین سه تکرار برای تمام آزمون‌ها و ۱۵ تکرار برای ویژگی‌های حسی در نظر

جدول ۲- رطوبت کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

رطوبت (درصد)	تیمارها	شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)
۱۳/۹±۱/۳ ^d	۱۷/۹±۰/۷ ^d	۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۱۶/۲±۰/۴ ^c	۱۹/۵±۰/۳ ^c	۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۱۸/۲±۰/۳ ^b	۲۱/۲±۱/۱ ^{bc}	۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۲۱/۱±۰/۹ ^a	۲۲/۴±۰/۵ ^b	۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۱۸/۱±۰/۳ ^b	۲۱/۱±۰/۹ ^{bc}	۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۱۸/۹±۱/۳ ^b	۲۳/۱±۰/۶ ^b	۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۲۱/۱±۱/۱ ^a	۲۵/۱±۱/۲ ^a	

حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

رشته‌های پلیمری مولکول‌های نشاسته می‌شود و به موجب آن اتصالات هیدروژنی بین مولکول‌های آب و گروه‌های هیدروکسیل آزاد آمیلوز و آمیلوپکتین، انحلال‌پذیری آرد، جذب آب خمیر و رطوبت محصول نهایی افزایش می‌یابد.

حجم مخصوص

جدول ۳ نشان دهنده حجم مخصوص کیک‌های بدون گلوتن است. همانطور که نتایج نشان داد، نمونه حاوی ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود و نمونه حاوی

در این زمینه Stathopoulos و Okennedy (۲۰۰۸) با افزودن کازئین شیر به آرد بدون گلوتن، محصولی تولید نمودند که از شبکه مستحکم و جذب آب بالایی برخوردار بود که با تحقق این امر پیش‌بینی نمودند محصولات نانوائی تولید شده از آرد بدون گلوتن حاوی کازئین شیر نسبت به نمونه‌های فاقد این افزودنی (کازئین شیر) دارای میزان رطوبت بیشتری (به دلیل افزایش جذب آب خمیر) خواهند بود. Jambrak و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند امواج فراصوت در اثر اعمال پدیده حفره‌سازی با ایجاد فشار و تنش موضعی باعث آسیب رساندن به گرانول‌ها، تخریب پیوندهای کووالانسی و در نتیجه شکستن

افزایش شدت امواج فراصوت اثر منفی ناشی از استحکام بیش از حد شبه شبکه گلوتهی برطرف شده است. Kamali Roosta و همکاران (۲۰۱۶) اثر امواج فراصوت را بر خمیر نان حاوی سه نوع آرد قوی، متوسط و ضعیف بررسی کردند. نتایج این محققان نشان داد اعمال امواج فراصوت بر خمیر نان حاوی آرد متوسط سبب بهبود خواص الاستیک خمیر شد و قطر منافذ حباب‌های هوای موجود در خمیر بر اثر اعمال امواج فراصوت افزایش یافت که همین امر موجبات افزایش تخلخل و حجم مخصوص را فراهم نمود. این در حالی بود که با استفاده از آرد ضعیف کاهش حجم مشاهده شد. جلالی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای اصلاح بافت نان قالبی بدون گلوتهن با استفاده از آرد ذرت پیش ژلاتینه و امواج فراصوت پرداختند. این محققان حضور نشاسته پیش ژلاتینه و امواج فراصوت را عاملی بر افزایش حجم مخصوص دانستند. Lagrain و همکاران (۲۰۱۳) و Mehta و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند امواج فراصوت با ایجاد هسته حباب‌های گاز در هوادهی بهتر خمیر مؤثر است و از آن می‌توان به‌عنوان یک روش غیرمخرب جهت مخلوط کردن خمیر و بهبود بافت محصولات نانویی استفاده نمود.

۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود، از بیشترین حجم مخصوص در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار بودند. صحرانیان (۱۳۹۱) براساس نتایج مطالعه خود گزارش کردند پودرهای لبنی با پروتئین بالا و لاکتوز کم (نظیر پودر پنیر) از طریق استحکام بخشیدن شبه شبکه تشکیل شده در بافت نان بدون گلوتهن و از طرفی حفظ و نگهداری بیشتر سلول‌های گازی در حین فرآیند پخت (ممانعت از پاره شدن حبابچه‌های گازی منبسط شده در اثر اعمال دمای پخت) توانایی افزایش حجم محصول نهایی را داشتند. اما توجه به این نکته ضروری است که چنانچه شبه شبکه تشکیل شده جهت حفظ و نگهداری سلول‌های گازی بیش از اندازه مستحکم گردد، سلول‌های هوای ورودی به خمیر کیک (طی فرآیند بهم زدن) در برابر انبساط (در حین فرآیند پخت) مقاومت خواهند کرد و اثر منفی بر افزایش حجم خواهند گذاشت. به احتمال زیاد علت موفقیت نمونه حاوی ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود در مقایسه با زمانی که شدت امواج فراصوت ۳۰ درصد بود، همین امر باشد که حضور ۹ درصد پودر پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتهن استحکام زیادی به شبه شبکه گلوتهی بخشیده که با

جدول ۳- حجم مخصوص و سفتی بافت کیک‌های بدون گلوتهن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

تیمارها	حجم مخصوص	سفتی بافت (نیوتن)	سفتی بافت (نیوتن)
(سانتی متر مکعب بر گرم)	۲ ساعت پس از پخت	یک هفته پس از پخت	
شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)	۲/۷±۰/۵ ^c	۷/۴±۱/۲ ^a	۱۲/۷±۱/۵ ^a
۳ درصد پودر پنیر - شدت صوت ۳۰ درصد	۳/۴±۰/۵ ^b	۳/۲±۰/۸ ^c	۷/۹±۱/۱ ^b
۶ درصد پودر پنیر - شدت صوت ۳۰ درصد	۴/۴±۰/۲ ^a	۳/۴±۰/۲ ^c	۵/۳±۰/۳ ^c
۹ درصد پودر پنیر - شدت صوت ۳۰ درصد	۲/۶±۰/۴ ^c	۶/۳±۱/۱ ^b	۵/۳±۱/۱ ^c
۳ درصد پودر پنیر - شدت صوت ۷۰ درصد	۲/۷±۰/۵ ^c	۵/۵±۰/۷ ^b	۸/۱±۰/۵ ^b
۶ درصد پودر پنیر - شدت صوت ۷۰ درصد	۳/۴±۰/۲ ^b	۵/۹±۱/۳ ^b	۷/۶±۰/۲ ^b
۹ درصد پودر پنیر - شدت صوت ۷۰ درصد	۴/۲±۰/۴ ^a	۳/۴±۱/۲ ^c	۵/۱±۱/۳ ^c

حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

بافت

۳۰ و ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود، کمترین سفتی بافت را یک هفته پس از پخت داشتند.

به‌طور کلی در محصولات نانویی بدون گلوتهن عدم حضور پروتئین گلوتهن در آرد مورد استفاده سبب تسهیل مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته می‌شود و در نتیجه آن سفتی بافت افزایش می‌یابد اما با کاربرد انواع مختلفی از افزودنی‌های مجاز یا به‌کارگیری فرایندهای جدید جهت تولید محصول می‌توان تا حدودی از این فرآیند (سفت شدن بافت) جلوگیری نمود. در اینجا به‌نظر می‌رسد پودر پنیر به‌عنوان یک افزودنی توانسته تا حدودی در افزایش نرمی بافت کیک بدون گلوتهن مؤثر باشد که در این میان سطح مصرفی ۶ درصد پودر پنیر بهترین عملکرد را در

جدول ۳ نشان‌دهنده سفتی بافت کیک‌های بدون گلوتهن در بازه زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت است. همانطور که نتایج نشان داد، نمونه حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود و نمونه حاوی ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود، از کمترین سفتی بافت در بازه زمانی ۲ ساعت پس از پخت در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار بودند. همچنین نتایج نشان داد، نمونه حاوی ۶ و ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود و نمونه حاوی ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت

از تکنیک امواج فراصوت بر پوشش خمیری (حاوی آرد بر پایه غلات و حبوبات) ناگت ماهی و میگو توانستند سفتی سطح و مغز بافت را کاهش دهند. Lagrain و همکاران (۲۰۱۳) براساس مطالعات خود گزارش کردند امواج فراصوت با ایجاد هسته حباب‌های گاز در هوادهی بهتر خمیر و کاهش سفتی بافت آن مؤثر بود.

رنگ پوسته و بافت درونی کیک

جدول ۴ نشان‌دهنده رنگ پوسته و بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن است. همانطور که نتایج نشان داد، افزایش پودر پنیر تا ۶ درصد سبب افزایش مؤلفه رنگی L^* پوسته کیک‌های بدون گلوتن تولیدی بود. این در حالی بود که با افزایش میزان پودر پنیر در فرمولاسیون بر میزان مؤلفه رنگی a^* پوسته نمونه‌های تولیدی به‌طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد افزوده شد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که افزایش درصد شدت امواج فراصوت منجر به افزایش مؤلفه رنگی L^* و کاهش مؤلفه رنگی b^* بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن شد.

بهبود بافت داشته است. از طرفی افزایش میزان سفتی بافت محصولات نانوبی طی مدت زمان نگهداری و بیاتی آن خود فرآیند پیچیده‌ای است که عوامل متعددی نظیر رترورگراسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، کاهش میزان رطوبت و یا توزیع رطوبت بین ناحیه آمورف و کریستالی در آن دخیل است (Ahlborn et al., 2005; Okkenedy & Stathopoulos, 2008; Morreale et al., 2018) و هر عاملی که بتواند بر حفظ رطوبت طی فرایند پخت و به‌ویژه پس از آن مؤثر باشد، بر کند شدن روند بیاتی تأثیر خواهد داشت. Peressini و همکاران (۲۰۱۷) نیز نتایج مشابهی را در زمینه کاربرد امواج فراصوت در تولید محصولات نانوبی گزارش کردند. این پژوهشگران از دو نوع آرد با قدرت تخمیر متفاوت و موادی مانند اینولین، روغن، امولسیفایر جهت تهیه خمیر استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن کاربرد امواج فراصوت با فرکانس ۳-۰/۳ مگاهرتز در کنار سایر مواد سبب افزایش نرمی بافت خمیر و محصول تولیدی از آن شد. Chen و همکاران (۲۰۰۹) و Dehghan Nasiri و همکاران (۲۰۱۱) به‌ترتیب با استفاده

جدول ۴- مؤلفه‌های رنگی پوسته و بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

مؤلفه‌های رنگی پوسته			تیمارها
b^{*ns}	a^*	L^*	
۲۳/۳±۱/۷	۲/۶±۰/۲ ^c	۴۴/۹±۲/۳ ^c	شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)
۲۲/۵±۱/۱	۵/۱±۰/۵ ^b	۴۹/۳±۱/۷ ^b	۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۲۲/۱±۱/۵	۵/۷±۰/۳ ^b	۵۳/۵±۰/۹ ^a	۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۲۳/۵±۱/۵	۷/۷±۰/۹ ^a	۴۳/۷±۱/۱ ^c	۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۲۲/۷±۲/۱	۴/۷±۰/۱ ^b	۴۸/۳±۱/۱ ^b	۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۲۳/۲±۱/۶	۵/۵±۰/۹ ^b	۵۴/۱±۱/۵ ^a	۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۲۳/۷±۲/۹	۸/۴±۱/۲ ^a	۴۵/۷±۱/۹ ^b	۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
مؤلفه‌های رنگی بافت درونی			تیمارها
b^*	a^{*ns}	L^*	
۱۷/۳±۱/۳ ^a	۰/۷±۰/۱	۶۰/۳±۳/۳ ^c	شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)
۱۲/۵±۱/۱ ^b	۱/۱±۰/۷	۷۰/۳±۱/۷ ^b	۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۱۱/۹±۱/۷ ^b	۰/۶±۰/۲	۶۸/۹±۱/۱ ^b	۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۱۲/۴±۰/۸ ^b	۰/۸±۰/۴	۶۹/۱±۲/۱ ^b	۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۷/۹±۱/۵ ^c	۰/۷±۰/۳	۷۷/۹±۲/۵ ^a	۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۴/۲±۰/۶ ^d	۰/۵±۰/۱	۷۵/۵±۱/۹ ^a	۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۸/۱±۱/۱ ^c	۱/۲±۰/۴	۷۷/۱±۲/۷ ^a	۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد

حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

ns^* : نمونه‌های تولیدی از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

به پوسته کیک است (محتوای بالاتر رطوبت در نمونه‌های حاوی پودر پنیر گواهی بر مهاجرت آهسته تر رطوبت از مغز به پوسته است که البته فشردگی بافت نمونه‌های حاوی ۹ درصد پودر پنیر را نباید نادیده گرفت).

در اینجا به نظر می‌رسد که افزایش مؤلفه رنگی L^* پوسته در حضور حداکثر ۶ درصد پودر پنیر نشأت گرفته از پوسته‌ای صاف، هموار و یکنواخت باشد که در نتیجه انتقال و مهاجرت آهسته‌تر رطوبت از مغز

تحقیق خود به این نتیجه دست یافتند که اعمال امواج فراصوت بر نشاسته سیب زمینی حل شده در آب تأثیر معنی‌داری بر شفافیت و مؤلفه رنگی L^* خمیر نشاسته سیب‌زمینی داشت و سبب افزایش آن شد. Dehghan Nasiri و همکاران (۲۰۱۱) نیز براساس نتایج مطالعه خود به این نکته اشاره نمودند تغییرات مؤلفه رنگی L^* تحت تأثیر صوت‌دهی کاملاً محسوس و معنی‌دار بود. این محققان اذعان داشتند هموژنیزاسیون امواج فراصوت و در نتیجه ایجاد حفرات بیشتر و قابلیت سفیدکنندگی صوت عامل بهبود رنگ محصول نهایی بود.

ویژگی‌های حسی

جدول ۴ و شکل ۱ به‌ترتیب نشان‌دهنده ویژگی‌های حسی و امتیاز پذیرش کلی کیک‌های بدون گلوتن است. همانطور که نتایج نشان داد، با افزودن پودر پنیر در سطوح ۳ و ۶ درصد به فرمولاسیون کیک بدون گلوتن امتیاز نمونه‌های تولیدی به لحاظ فرم و شکل، خصوصیات سطح بالایی، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت و قابلیت جویدن نسبت به شاهد (فاقد پودر پنیر) به‌طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد افزایش یافت. این درحالی بود که افزودن این پودر لبنی در تمام سطوح مصرفی سبب افزایش امتیاز بو و مزه به‌طور معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد شد.

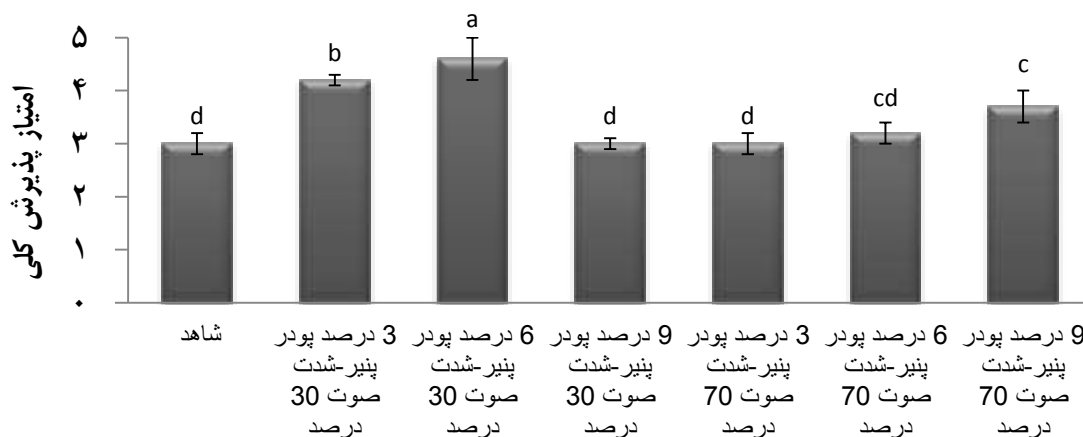
در این راستا Purlis و Salvadori (۲۰۰۹) بیان نمودند که تغییرات سطح نان مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین‌دار توانایی بیشتری در انعکاس نور و افزایش میزان مؤلفه L^* دارند. از طرفی این انتظار وجود داشت که مؤلفه رنگی a^* پوسته کیک‌های بدون گلوتن با افزودن پودر پنیر به فرمولاسیون اولیه افزایش یابد زیرا این افزودنی (پودر پنیر) به دلیل دارا بودن لاکتوز و پروتئین در آن می‌تواند در واکنش‌های قهوه‌ای شدن شرکت نماید و از این رو سبب تیره‌تر شدن رنگ محصول شود. در همین راستا Gallagher و همکاران (۲۰۰۳) به نتایج مشابهی در اثر افزودن ۷ نوع پودر لبنی به فرمولاسیون نان بدون گلوتن دست یافتند. Tan و همکاران (۲۰۱۱)، Sujka و Jamroz (۲۰۱۳) و Sit و همکاران (۲۰۱۳) نتایجی نظیر تسریع اکسیداسیون، افزایش هوادهی و بهبود رنگ فرآورده‌های نانوائی را با کاربرد امواج فراصوت گزارش کردند. بنابراین افزایش مؤلفه رنگی L^* و کاهش مؤلفه رنگی b^* بافت درونی نمونه‌های تولیدی تحت تأثیر امواج فراصوت می‌تواند به دلیل هوادهی و تسریع اکسیداسیون باشد که منجر به افزایش سفیدی و کاهش زردی بافت داخلی کیک شده است. کاهش زردی در نتیجه اکسیداسیون رنگدانه‌های آردهای به کار رفته در فرمولاسیون باشد. Ziobro و همکاران (۲۰۱۲)، Torres-Sánchez و Phattanakulkaewmorie و همکاران (۲۰۱۱) و Jamroz و Sujka (۲۰۱۳) طی (۲۰۱۱) مشابهت داشت. همچنین

جدول ۴- مؤلفه‌های رنگی پوسته و بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

ویژگی‌های حسی				تیمارها
پوکی و تخلخل	سطح پائینی ^{ns}	سطح بالایی	فرم و شکل	
۳/۰ ^c	۳/۸	۳/۰ ^c	۳/۳ ^c	شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)
۴/۰ ^b	۴	۴/۴ ^a	۴/۶ ^a	۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۴/۸ ^a	۴	۴/۴ ^a	۴/۸ ^a	۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۳/۰ ^c	۳/۶	۲/۲ ^d	۳/۸ ^b	۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۴/۲ ^b	۴	۳/۶ ^b	۳/۸ ^b	۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۳/۶ ^{bc}	۳/۶	۳/۸ ^b	۳/۰ ^c	۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۴/۶ ^a	۳/۶	۲/۶ ^c	۳/۶ ^b	۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
سفتی و نرمی بافت				تیمارها
قابلیت جویدن	بو و مزه			
۳/۰ ^b	۲/۳ ^d	۲/۷ ^c		شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)
۴/۰ ^a	۴/۲ ^b	۴/۴ ^a		۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۴/۰ ^a	۴/۶ ^a	۴/۶ ^a		۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۲/۷ ^{bc}	۳/۸ ^c	۳/۰ ^c		۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد
۳/۰ ^b	۳/۰ ^c	۲/۸ ^d		۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۲/۳ ^c	۳/۰ ^c	۲/۷ ^c		۶ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد
۳/۸ ^a	۴/۰ ^b	۳/۷ ^b		۹ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد

حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

^{ns}: نمونه‌های تولیدی از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.



تیمارها

شکل ۱- امتیاز پذیرش کلی کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت. حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

شکل ۲ درصد تخلخل کیک‌های تولیدی را نشان می‌دهد. همچنین در این بخش به ارزیابی تصاویر به‌دست آمده از نرم‌افزار Image J و میکروسکوپ الکترونی از بهترین نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد پرداخته می‌شود (شکل ۳). یافته‌های این بخش نیز بیانگر برتری درصد تخلخل نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود در مقایسه با نمونه شاهد بودند. اما نکته قابل توجه این بود که نمونه حاوی ۶ درصد پودر پنیر از درصد تخلخل بیشتری نسبت به نمونه حاوی ۳ درصد برخوردار بود. تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ الکترونی نیز انسجام و پیوستگی ریز ساختار نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود را در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد. میزان تخلخل در ارتباط مستقیم با تعداد سلول‌های گازی و مهم‌تر از آن توزیع یکنواخت آن‌ها در بافت محصول می‌باشد (صحرانیان و همکاران، ۱۳۹۷). Lieke و همکاران (۲۰۱۱) از پروتئین‌های آب پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن استفاده نمودند. براساس نتایج این محققان مشخص گردید پروتئین‌های آب پنیر با بهبود شبه شبکه موجود در نان بدون گلوتن سبب بهبود حجم مخصوص و تخلخل محصول نهایی شدند. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند حضور پروتئین‌های آب پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن سبب ایجاد سلول‌های گازی مشابه با آنچه در نان گندم وجود داشت شد و در نمونه‌های نان بدون گلوتن حاوی پروتئین‌های آب پنیر پخش و توزیع حبابچه‌های گازی یکنواخت‌تر بود. همچنین Tan و همکاران (۲۰۱۱) اثر امواج فراصوت را بر اختلاط بهتر خمیر کیک اسفنجی بررسی نمودند. نتایج این محققان نشان داد امواج فراصوت سبب کاهش چگالی خمیر از طریق بهبود شاخص رفتار جریان،

در مورد بهبود عطر و مزه دو مسئله مطرح است یکی آنکه پودر پنیر با ذائقه مصرف کننده سازگار است و از انواع پنیر در فرمولاسیون دسرها، شیرینی‌ها، انواع کیک‌ها و نان‌ها به‌صورت پوشش سطح، مغزی و غیره استفاده می‌شود. یکی دیگر آنکه برای نمونه‌های که بافت بهتری دارند رهایش عطر و مزه بیشتر اتفاق می‌افتد و از طرفی قابلیت جویدن و احساس دهانی مطلوب‌تر می‌گردد. در این زمینه Koliandris و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند درک بو و مزه و رهایش مواد مولد آن‌ها بستگی به نوع بافت نمونه دارد و در بافت‌هایی که پیوستگی بیشتر است و بافت خوشایند مصرف کننده یا ارزیابان چشایی است، درک بو و مزه بیشتر است. Boland و همکاران (۲۰۰۴) این امر را به طریق دیگری توجیه کردند و اعتقاد داشتند برهمکنش‌های بین مواد مولد بو و مزه در محصولات با بافت و ساختار مناسب بهتر اتفاق افتاده است که این امر منجر به افزایش احساس دهانی خوب و رهایش هرچه بیشتر مواد طعم‌زا می‌شود.

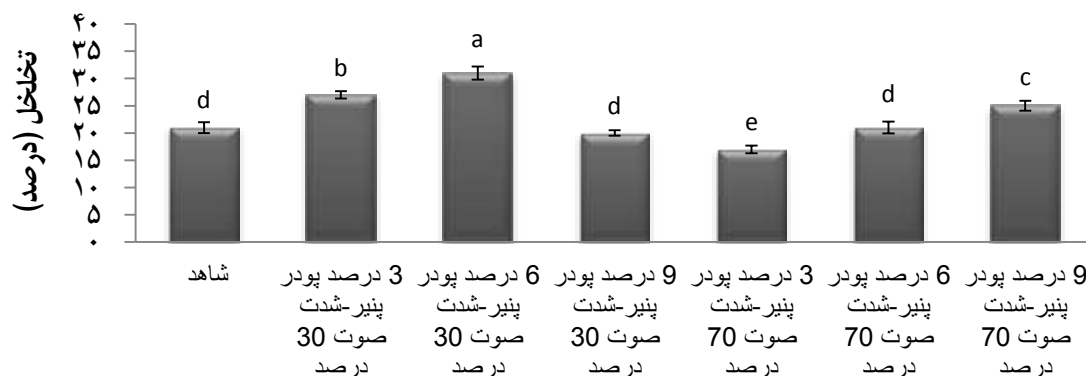
علاوه بر این نتایج ارزیابی خصوصیات پائینی حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. همچنین نتایج نشان داد، امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد عملکرد بهتری بر امتیاز ویژگی‌های حسی کیک داشت. تحت تأثیر در نهایت نتایج نشان داد نمونه حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود از بیشترین امتیاز ویژگی‌های حسی و پذیرش کلی برخوردار بودند

تخلخل و ریز ساختار کیک

همانطور که نتایج در بخش‌های قبلی نشان داد نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود از بهترین ویژگی‌های بافتی و حسی برخوردار بودند.

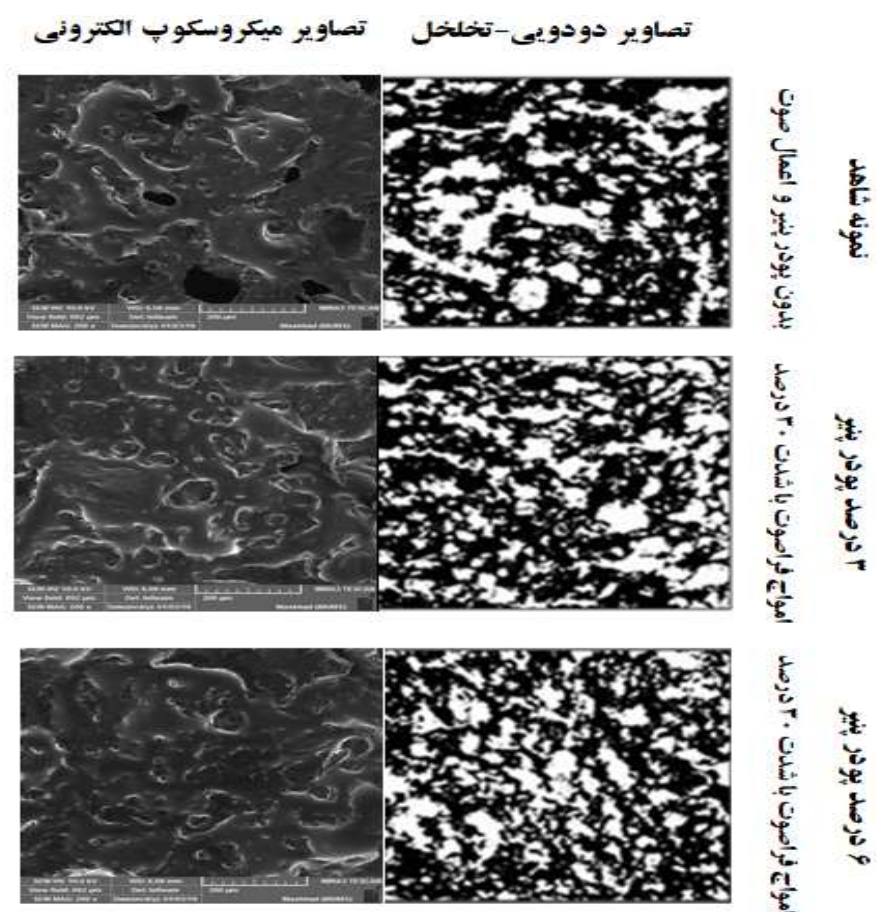
مرزی سبب اغتشاش و افزایش سطح تماس می‌شود و به موجب این امر ذرات ریز و یکنواخت در محصول ایجاد می‌شود و کیفیت محصول تولیدی بهبود می‌یابد.

ویسکوزیته خمیر و فرایند هوادهی شد و حجم و تخلخل نمونه‌های تولیدی افزایش یافت. Knorr و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند پدیده کاویتاسیون که مکانیسم اصلی امواج فراصوت است در نزدیک لایه



تیمارها

شکل ۲- تخلخل کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت. حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۳- تصاویر دودویی و میکروسکوپ الکترونی (بزرگنمایی $10\times$) نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر تحت تأثیر امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد

Rajiv و همکاران (۲۰۱۱) به این نتیجه رسیدند که در یک حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم، ماتریکس گلوتن پیوسته است اما با افزایش جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن پیوستگی ماتریکس پروتئینی کاهش یافته و به میزان بیشتری از هم گسیخته می‌شود که جهت جبران این امر باید از انواع صمغ‌ها و ترکیبات پروتئینی و به عبارتی جایگزین و تقویت کننده گلوتن استفاده نمود. رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی ریزساختار یک روغنی حاوی مخلوطی از آرد گندم و کینوا پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که یک های ترکیبی و حاوی آردهای ضعیف ساختار از هم گسیخته‌ای دارند و شبکه تشکیل شده در آن‌ها از استحکام و انسجام خوبی برخوردار نیست. از این رو توصیه نمودند زمان استفاده از آردهای ضعیف و بدون گلوتن در محصولات نانوائی نظیر یک روغنی باید به کمک افزودنی‌های مجاز نظیر انواع هیدروکلوئیدها و ترکیبات پروتئینی شبکه تشکیل شده را تقویت نمود. رجبی محمدآباد و همکاران (۱۳۹۸) نیز به نتایج مشابهی با مطالعه تصاویر میکروسکوپ الکترونی (ریز ساختار) یک روغنی زعفرانی بر پایه مخلوطی از آرد گندم و ارزن دست یافتند. این محققان به نیز به این نکته اشاره نمودند که درصد استفاده از صمغ و ترکیبات پروتئینی در فرمولاسیون یک های حاوی آرد ضعیف باید با دقت انتخاب شود. زیرا نشاسته و سایر ترکیبات آبدوست در رقابت با یکدیگر قرار می‌گیرند و این امکان وجود دارد به دلیل عدم جذب آب توسط نشاسته، ژلاتینه شدن به خوبی اتفاق نیافتد و در نتیجه محصول تولیدی با سرعت بیشتری بیات شود که در این صورت در تصاویر میکروسکوپی (ریزساختار نمونه‌ها) گرانول‌های دست نخورده نشاسته مشاهده خواهد شد. در تحقیق حاضر به نظر می‌رسد انتخاب ترکیبات موجود در فرمولاسیون یک روغنی بر پایه مخلوطی از آردهای کینوا، سیب‌زمینی و برنج به خوبی صورت گرفته است و نشاسته موجود در فرمول یک به خوبی جذب آب داشته است

نتیجه گیری

این تحقیق با هدف بهبود کیفیت یک روغنی حاوی مخلوطی از آردهای بدون گلوتن (کینوا، جوانه‌زده، سیب‌زمینی و برنج) با افزودن

منابع

پودر پنیر و کاربرد امواج فراصوت انجام شد. علت انتخاب آرد کینوا جوانه‌زده افزایش ارزش تغذیه‌ای آن در مقایسه با آرد کینوا و در نهایت غنی‌سازی یک با منابع طبیعی بود. همچنین غلات و شبه غلات جوانه‌زده به دلیل داشتن آنزیم آلفا آمیلاز می‌توانند در بهبود رنگ و بافت محصولات بدون گلوتن (این دسته از محصولات دارای رنگ روشن و بافت خشک و نامرغوب هستند) مؤثر باشند. از طرفی با توجه به آنکه سیب زمینی با ذائقه ایرانی سازگار است و آرد آن قابلیت استفاده در صنعت نانوائی را دارد، جهت ایجاد تنوع و طعم متفاوت از آرد سیب‌زمینی نیز در کنار آرد برنج و کینوا استفاده شد. یافته‌های این تحقیق به وضوح نشان داد، استفاده از پودر پنیر در بهبود رنگ، بافت و ویژگی‌های حسی به‌ویژه عطر و مزه مؤثر بود. همچنین امواج فراصوت بر تخلخل، حجم مخصوص، قابلیت جویدن و رنگ اثر مثبت داشت. با در نظر گرفتن تمام ویژگی‌های مورد بررسی در این پژوهش نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود به عنوان برترین نمونه‌های این تحقیق معرفی می‌شود. لازم به ذکر است تصاویر میکروسکوپ الکترونی بیانگر ریزساختاری منسجم و یکنواخت‌تر برای دو نمونه برتر در مقایسه با نمونه شاهد بود. بنابراین می‌توان گفت با افزودن پودر پنیر به فرمولاسیون یک بدون گلوتن و استفاده از امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد می‌توان محصولی جذاب‌تر با طعم مطلوب ایجاد نمود که به احتمال زیاد قابلیت رقابت با محصولات مشابه موجود در بازار مصرف را دارد. در صورت در دسترس نبودن دستگاه اولتراسوند و عدم بهره‌مندی از امواج فراصوت پیشنهاد می‌شود بر روی هوادهی خمیر یک مطالعاتی صورت گیرد و در کنار آن بهبوددهنده‌هایی حاوی امولیسفاورها و صمغ های بومی و طبیعی طراحی گردد که در حفظ حباب‌های هوای ورودی به خمیر یک طی فرایند بهم‌زدن و حباب‌های تولید شده توسط بیکنینگ پودر کمک‌کننده باشند.

- رحیمی، ش.، شیخ الاسلامی، ز. و سیدین اردبیلی، س. م. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر صمغ بومی بارهنگ کبیر () بر کیفیت و خواص حسی یک روغنی کم چرب ترکیبی (گندم-کینوا). علوم و صنایع غذایی، شماره ۸۸، دوره ۱۶، صفحات ۱۲۳-۱۳۳.
- رجبی محمدآباد، م.، شیخ الاسلامی، ز. و الماسی، م. ۱۳۹۸. بررسی سطوح متفاوت صمغ فارسی (زدو) بر بافت، ریزساختار و ویژگی‌های حسی یک روغنی زعفرانی. علوم و صنایع غذایی، شماره ۹۷، دوره ۱۶، صفحات ۱۴۸-۱۳۷.
- صحرائیان، ب.، کریمی، م. و شیخ الاسلامی، ز. ۱۳۹۷. بررسی عملکرد صمغ دانه شاهی در مقایسه با گزانتان بر خصوصیات بافتی و تصویری یک روغنی بدون گلوتن (برنج-ذرت). مجله تحقیقات مهندسی صنایع غذایی، دوره ۱۷، شماره ۲، شماره پیاپی ۶۵، صفحات ۱-۱۴.

- صحرانیان، ب. ۱۳۹۱. بررسی امکان تولید نان بدون گلوتن با استفاده از سورگوم، پودر پنیر، صمغ های گوار، کربوکسی متیل سلولز و بالنگوشیرازی. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی.
- AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Ahlborn, G. J., Pike, O. A., Hendrix, S. B., Hess, W. M. & Huber, C. S. 2005. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low protein and gluten free bread. *Cereal Chemistry*, 82: 328-335.
- Barcenas, M. E. & Rosell, M. 2003. Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Research International*, 36:863-869.
- Belitz, H. D. & Grosch, W. 1987. Food Chemistry. Springer Verlag: New York.
- Boland, B., Buhr, K., Giannouli, P. & Van Ruth, S. M. 2004. Influence of gelatin, starch, pectin and artificial saliva on the release of 11 flavor compounds from model gel systems. *Food Chemistry*, 86(3): 401-411.
- Chen, C. L., Li, P. Y., Hu, W. Y., Lan, M. H., Chen, M. J. & Chen, H. H. 2008. Using HPMC to improve crust crispness in microwave-reheated battered mackerel nuggets: water barrier effect of hpmc. *Food Hydrocolloids*, 22: 1337-1344.
- Crockett, R., Ie, P. & Vodovotz, Y. 2011. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food Chemistry*, 129(1): 84-91.
- Dehghan Nasiri, F., Mohebbi, M., Tabatabaee Yazdi, F., & Haddad Khodaparast, M. H. 2011. Kinetic modeling of mass transfer during deep fat frying of shrimp nugget prepared without a pre-frying step. *Food and Bioprocess Processing*, 89(3): 241-247.
- Furlan, L. T. R., Padilla, A.P., and Campderris, M. E. 2015. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. *Food Chemistry*, 170: 257-264.
- Gallagher, E., Kunkel, A., Gormley, T.R., & Arendt, E. 2003. The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics and shelf life (intermediate and long term) of gluten – free bread stored in modified atmosphere. *Food Research Technology*, 218: 44-48.
- Jalali, M., Sheikholeslami, Z., Elhamirad, A. H., Haddad Khodaparast, M. H. & Karimi, M. The effect of the ultrasound process and pre-gelatinization of the corn flour on the textural, visual, and sensory properties in gluten-free pan bread. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3): 993-1002.
- Jambrak, A.R., Herceg, Z., Subaric, D., Babic, J., Brncic, M., Brncic, S.R., Bosiljkov, T., Cvek, D., Tripalo, B., & Gelo, J. 2010. Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 79(1): 91-100.
- Kamali Roosta, L., Seyedian Ardebili, M., Asadi, G.H., Ghiassi Tarzi, B. & Azizinejad, R. 2016. Evaluation and comparison of the qualitative properties of Lavash bread types during storage by different techniques. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(1): 57-70.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V. & Lee, D. U. 2004. Application and potential ultrasonic in food processing. *Trend in Food Science & Technology*, 15(5): 261-266.
- Koliandris, A., Lee, A., Ferry, A., Hill, S. & Mitchell, J. 2008. Relationship between structure of hydrocolloid gels and solutions and flavor release. *Food Hydrocolloids*, 22: 623-630.
- Lagrain, B., Wilderjans, E., Glorieux, C. & Delcours, J. A. 2013. Role of gluten and starch in crumb structure and texture of fresh and stored straight-dough bread. *Conferences on Inside Food Symposium*, Leuven, Belgium.
- Lieke, E., Riemsdijk, V., Atze, J., Goot, V., Rob, J. & Remko, M. 2011. Preparation of gluten-free bread using a meso-structured whey protein particle system. *Journal of Cereal Science*, 53(3): 355-361.
- Liu, X., Mu, T., Sun, H., Zhang, M., Chen, J. & Fauconnier, M. L. 2018. Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and in vitro starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour. *Food chemistry*, 239: 1064-1074.
- Lyimo, M., Berling, E. S. & Sibuga, K. P. 2004. Evaluation of the nutritional quality and acceptability of germinated Bambara nut (VIGNIA-SUBTERRANEA (L) VERLE) based products. *Ecology of Food and Nutrition*, 43: 181-91.
- Mamedi, A., Tavakol Afshari, R. & Sepahvand, N. A. 2017. Quantifying seed germination response of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) under temperature and drought stress regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(3): 615-623.
- Maria, P., Massimiliano, R., Martina, C., Francesca, F. & Emma C. 2016. Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT-Food Science and Technology*, 70: 88-95.
- Mehta, K. L., Scanlon, M. G., Sapirstein, H. D. & Page, J.H. 2009. Ultrasonic investigation of the effect of vegetable shortening and mixing time on the mechanical properties of bread dough. *Journal of Food Science*, 74(9): 455-461.
- Moor, M. M., Schober, T. J., Dockery, P. & Arendt, E. K. 2004. Textural comparisons of gluten free and wheatbased doughs, batters and bread. *Cereal Chemistry*, 84: 567-575.
- Morreale, F., Garzon, R. & Rossel, C. M. 2018. Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A Study with hydroxypropylmethycellulose. *Food Hydrocolloids*, 77: 629-635.
- Niland, B. & Cash, B. D. 2018. Health benefits and adverse effects of a gluten-free diet in non-celiac disease patients. *Gastroenterology & hepatology*, 14 (2): 82.

- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G. & Lindhauer, M. G. 2010b. Modification of gluten – free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *Food Science and Technology*, 98: 1-6.
- Panfil, P., Dorica, B., Sorin, C., Emilian, M., Ersilia, A. & Iosif, G. 2014. Biological characterization of flour obtained from germinated cereals (wheat, barley and oat). *Romanian Biotechnological Letters*, 19(5): 9772-7.
- Phattanakulkaewmorie, M., Paseephol, T. & Moongngam, A. 2011. Chemical properties of malted sorghum flour and characteristics of gluten free bread. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57: 457-460.
- Peressini, D., Braunstein, D., Page, J.H., Strybulevych, A., Lagazic, C., and Scanlon, M.G. 2017. Relation between ultrasonic properties, rheology and baking quality for bread doughs of widely differing formulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8): 2366-2374.
- Purlis, E. & Salvadori, V. 2009. Modeling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42: 865-870.
- Rajiv,J., Soumya, C., Indrani, D. & Rao, G. V. 2011. Effect of replacement of wheat flour with finger millet flour (Eleusine Corcana) on the batter microscopy and rheology. *Journal of texture studies*, 42(6): 478-489.
- Ronda, F., Oliete, B., Gomez, M., Caballero, P. & Pando, V. 2011. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 112: 272-277.
- Sabanis, D., Tzia, C. & Papadakis, S. 2008. Effect of different raisin juice preparations on selected properties of gluten-free bread. *Food and Bioprocess Technology*, 1(4): 374-383.
- Sharma, P. & Gujral, H. S. 2010. Antioxidant and polyphenol oxidant activity of germinated barley and its milling fraction. *Food Chemistry*, 120 (3): 673-8.
- Sit, N., Misra, S. & Deka, S. C. 2014. Yield and functional properties of Taro starch as affected by ultrasound. *Food and Bioprocess Technology*, 7(7): 1950-1958.
- Skodje, G. I., Sarna, V. K., Minelle, I. H., Rolfsen, K. L. & Muir, J. G. 2018. Fructan, rather than gluten, induces symptoms in patients with self-reported non-celiac gluten sensitivity. *Gastroenterology*, 154 (3), 529-539.
- Sujka, M. & Jamroz, J. (2013). Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and Functional behavior. *Food Hydrocolliods*, 31: 413-419.
- Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, New York.
- Stathopoulos, C.E., & Okennedy, B.T. 2008. The effect of salt on the rheology and texture of casein based ingredient intended to replace gluten. *Milchwissenschaft*, 63: 430-433.
- Tan, M. C., Chin, N. L. & Yusof, Y. A. 2011. Power ultrasound aided batter mixing for sponge cake batter. *Journal of Food Engineering*, 104(3): 430-437.
- Ziobro, R., Juszczak, L., Witczak, M. & Korus, J. 2016. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1): 571-580.



Evaluation of the effect of cheese powder and ultrasonic wave on physicochemical and sensory properties of gluten-free oil cake

B. Sahraian¹, F. Pourhaji^{2*}, B. Alizadeh Behbahani³

Received: 2020.05.03

Accepted: 2020.06.22

Introduction: Celiac disease leads to the malabsorption of nutrients and damage to intestinal mucosa. High nutritional value is one of the advantages of dairy powders, associated with their high calcium, protein and essential amino acid contents. Research has shown that such powders boost the gluten quasi-network by forming interfacial films. They are also able to increase the moisture, improve the organoleptic properties, and retard the staling of gluten-free bakery products. In addition, it has been reported that ultrasonic waves can accelerate the oxidation and increase the aeration, volume, porosity and moisture content of bakery products. They can also reduce the hardness and improve the color of such products, thus resulting in the enhancement of their quality and marketability. Consequently, the aim of this study was to improve the appearance, flavor and texture of the gluten-free cake based on rice, germinated quinoa and potato flour using cheese powder at 0, 3, 6 and 9% and ultrasound intensity of 0, 30 and 70% for 5 min.

Material and methods: In this study, cheese powder at 0, 3, 6 and 9% and ultrasound intensity of 0, 30 and 70% for 5 min were used to improve the quality of gluten-free cupcake. Control cake formulation had 70 g rice flour, 15 g germinated quinoa flour, 15 g potato flour, 52 g sugar, 50 g water, 36 g egg, 36 g oil, 12 g invert syrup, 2 g baking powder, 0.2 g vanilla, 1.5 g guar gum and 0.5 g xanthan gum. Moisture, specific volume, firmness, crust and crumb color, sensory properties, porosity and scanning electron microscopy (SEM) (with 100× magnification) were evaluated. To study the effect of processing parameters on color components of gluten-free cupcake, the RGB color space images were converted to $L^*a^*b^*$ space. For determination of gluten-free cupcake porosity using image analysis, the color images were first gray scaled and then thresholded using isodata algorithm. The porosity was measured from the ratio of white to the total numbers of pixels. Results were reported as the average of three replications. In order to assess significant differences among samples, a complete randomized design of triplicate analyses of samples was performed using the Mini-Tab17. Turkey's new multiple range tests were used to study the statistical differences of the means with 95% confidence.

Result and discussion: Results revealed that moisture content increased as the cheese powder and ultrasound intensity were elevated. Cheese powder caused the moisture content to increase by boosting the gluten quasi-network and ultrasonic waves brought about this phenomenon by dissociating the polymeric chains of starch molecules and forming hydrogen bonds between water molecules and free hydroxyl groups. The sample containing 6% cheese powder sonicated at 30% intensity had higher specific volume ($4/4 \text{ Cm}^3/\text{g}$) and porosity (31.2%) as well as lower hardness (3.4 and 4.4 N after 2 hours and one week respectively) compared with other samples. Cheese powder, by boosting the gluten quasi-network and improving the dough elastic properties, and ultrasound, through enlarging the air bubbles present in the dough, caused an increase in the porosity, specific volume and softness. The results also indicated that the rise in the cheese powder content up to 6% led to an increase in the L^* value (from 44.9 to 53.5) and up to 9% in the a^* value (from 2.6 to 8.4) of the gluten-free cupcake crust. On the other hand, the results demonstrated that as the ultrasonic intensity was increased, the L^* value of the gluten-free cupcake crumb also increased (from 60.3 to 77.9), while its b^* value was reduced (from 17.3 to 7.9). This could be due to the aeration and oxidation acceleration which resulted in the increased whiteness and decreased yellowness of the cake crumb. Finally, the findings of sensory evaluation showed the preference of the samples containing 3 and 6% cheese powder sonicated at 30% intensity (4.2 and 4.4 score). The SEM and binary images of the preferred samples also confirmed the integrity of the internal structure and the gluten quasi-network of these samples, compared with the control.

Keywords: Gluten-free, Ultrasonic, Germinated Quinoa, Porosity, Micro-structure.

1. Food Quality and Safety Research Department, ACECR, Khorasan Razavi Branch, Iran.

2. PhD, Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3. 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: pourhajif@yahoo.com)

مقاله پژوهشی

بهینه‌یابی برهمکنش پروتئین آب پنیر-صمغ دانه شاهی به روش سطح پاسخ و بررسی خواص کف‌زایی نمونه بهینه

زهرا خلوصی^۱ - مصطفی مظاهری طهرانی^{۲*} - سید محمدعلی رضوی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۲

چکیده

در این پژوهش، ابتدا شرایط تشکیل کمپلکس کواسروات صمغ دانه شاهی - کنسانتره پروتئین آب پنیر مورد مطالعه قرار گرفت. pH و نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید بهینه به ترتیب ۴/۲ و ۵ به دست آمد. بدین منظور pH و نسبت کنسانتره پروتئین آب پنیر به صمغ دانه شاهی به ترتیب در دامنه‌های ۲-۷ و ۵:۱ تا ۵:۱ (وزنی/وزنی) به عنوان متغیر مستقل برای به دست آوردن بالاترین عملکرد کمپلکس کواسروات (با آزمون‌های کدورت سنجی و مقدار رسوب) به عنوان متغیرهای پاسخ با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) و بر مبنای طرح مرکب مرکزی (CCD) بهینه شدند. در ادامه تحقیق، خواص کف‌زایی نمونه بهینه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد خواص کف‌زایی نمونه بهینه افزایش معنی‌داری را در مقایسه با پروتئین شاهد خالص به دلیل حضور صمغ دانه شاهی و تاثیر بر تشکیل فیلم ویسکوالاستیک و ویسکوزیته فاز توده نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌یابی، پروتئین آب پنیر، صمغ دانه شاهی، کمپلکس کواسروات، کف زایی

مقدمه

بیوپلیمرهای پروتئین-پلی‌ساکارید و pH مخلوط از عوامل مهم مؤثر در جذب و سازگاری پروتئین-پلی‌ساکارید و همچنین ویژگی‌های تجمع‌های تشکیل شده آنها هستند (Shu et al. 1996)، لذا در پژوهش‌های قبلی این دو پارامتر برای دستیابی به بالاترین عملکرد و کارایی ممکن کمپلکس کواسروات بهینه شده اند. برای این منظور چگالی نوری (کدورت) مخلوط‌های پروتئین-پلی‌ساکارید و بازده رسوبات خشک شده در این مطالعه به عنوان پایه بهینه‌سازی فرآیند کمپلکس کواسروات همانند سایر مطالعات قبلی (Wang et al., 2012) مورد استفاده قرار گرفت. این تجمع‌های ماکرومولکولی، از نوع کواسروات نانو یا ریز ذرات می‌توانند برای ریزپوشانی (انکپسولاسیون) ترکیبات زیست فعال و عوامل عطر و طعم در صنایع غذایی مورد استفاده قرار گیرند (Sanchez et al. 1997; Schmitt et al. 1998). همچنین کواسروات‌ها بسته به شرایط واکنش و نوع بیوپلیمرهای شرکت کننده، حامل ترکیبی از خواص فیزیکوشیمیایی ماکرومولکول‌های سازنده خود، به‌ویژه خصوصیت هیدروفوبی و هیدروفیلی آنها هستند که می‌توانند به عنوان مواد تشکیل‌دهنده برای تثبیت هوا-آب یا روغن-آب در انواع سیستم‌های غذایی کمپلکس و در طیف وسیعی از محصولات غذایی از جمله نوشیدنی‌ها، بستنی، نان، کیک، موس، شیرهای همزده، نوشابه، مارشمالو، کیک میوه‌ای، تاپینگ، شکلات‌های هوادار، کف‌های چسبنده گیاهی، دسرهای میوه‌ای منجمد و غیره نقش عامل کف‌زا و یا تثبیت امولسیون‌ها استفاده شوند (Schmitt and Turgeon 2011; Weinbreck et al.

پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها بیوپلیمرهای طبیعی هستند که جزء پرکاربردترین هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی می‌باشند (Gaonkar and McPherson 2006) که اغلب در مواد غذایی و محصولات دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Jones et al. 2010). از آنجا که این دو بیوپلیمر معمولاً اثر هم افزایی داشته و ویژگی‌های عملکردی یکدیگر را بهبود می‌بخشند (Harnsilawat et al., 2006)، اغلب به‌طور همزمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، بنابراین آگاهی از فعل و انفعالات بیوپلیمر به دلیل نقش مهم آنها در کنترل پایداری، بافت و ساختار و همچنین جنبه رژیم غذایی محصولات غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است (Cavallieri et al., 2011). در تعامل الکترواستاتیک، پروتئین دارای بار مثبت با پلی‌ساکاریدهای حاوی گروه‌های منفی کربوکسیلیک، فسفات یا سولفات در زیر نقطه ایزوالکتریک (PI) (LEE, MORR, and HA 1992) پروتئین، منجر به تشکیل ذرات ماکرومولکول با ایجاد تجمعات ملکولی غنی از پلیمرهای زیستی معلق در فاز آبی، به نام کمپلکس‌های کواسروات شده که باعث انعقاد و جداسازی خود به خودی فاز می‌شوند. نسبت

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استاد، قطب علمی هیدروکلوئیدهای طبیعی بومی ایران، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(* - نویسنده مسئول: Email: mmtehrani@um.ac.ir)

2003). در پژوهش حاضر، بهینه‌یابی شرایط تشکیل کمپلکس کوآسروآت کنسانتره پروتئین آب پنیر- صمغ دانه شاهی و خواص کف‌زایی کمپلکس کوآسروآت برای اولین بار مورد مطالعه قرار گرفته است. پروتئین‌های شیر از جمله پروتئین آب پنیر نقطه عطف تحقیقات کلونیدی هستند که در توسعه محصولات غذایی جدید به دلیل خواص تغذیه‌ای منحصر به فرد، خواص کاربردی و تکنولوژیکی، خواص بین سطحی و ژل‌شوندگی آن در نقش امولسیفایرها، ژل‌دهنده‌ها و تثبیت‌کننده‌ها در بسیاری از فرمولاسیون‌های غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Forschen 2017; Dickinson 1992). پروتئین‌های آب پنیر، به‌عنوان ماکرومولکول‌های آمفیپاتیک، این توانایی را دارند که در سطح مشترک فازهای پراکنده و پیوسته باز شده و جذب شوند (Scheer et al., 2001; Tamm et al. 2012; Wierenga and Gruppen, 2010) و یک لایه جاذب ویسکوالاستیک تشکیل دهند (Wilde, 2000). همچنین پروتئین آب پنیر با توانایی جذب در سطح مشترک آب- روغن و آب- هوا از طریق تعاملات هیدروفوبیک یا پل‌های دی‌سولفید، و پیوندهای بین مولکولی (Nicorescu et al. 2008)، به‌عنوان عوامل کف‌زا عمل کند (Dickinson, 1992; Forschen, Nicorescu et al., 2008). 2017 خصوصیات کف‌زایی یا فعالیت‌های سطحی پروتئین‌ها با خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها مانند ساختار، اندازه، شکل و ترکیب آمینو اسیدها (Patino, 2011) و عوامل محیط خارجی ارتباط نزدیکی دارد.

دانه شاهی با نام علمی *Lepidium sativum* از خانواده شب بویان (*Cruciferea*) و عنوان انگلیسی شاهی باغی^۱، در کشورهای خاورمیانه، اروپا و ایالات متحده رشد کرده و جز محصولات کم مصرف می‌باشد. گیاه شاهی منبع غنی از آلفالوئیدها بوده و استفاده از آن به‌عنوان یک افزودنی غذایی در فرمولاسیون فیبرهای رژیمی به‌دلیل خصوصیات سلامت بخشی، ثابت شده است (Karazhiyan et al. 2011). دانه شاهی در آب به سرعت آب جذب کرده و ۶/۵-۱۵٪ مایع موسیلاژی چسبناک و بدون عطر و طعم تولید می‌کند (Karazhiyan et al. 2011). صمغ دانه شاهی (CSG^۲) دارای متوسط وزن ملکولی ۵۴۰ کیلو دالتون و شعاع چرخش ۷۵ نانومتر، که کربوهیدرات قسمت عمده ترکیب تشکیل دهنده صمغ دانه شاهی با مقدار حدود (۷۷٪)، مقدار اندکی پروتئین (۲/۴٪) به‌صورت گلیکوپروتئین یا کمپلکس پروتئین- پلی‌ساکارید و چربی (۱/۸۵٪) می‌باشد. همچنین حضور دو اسید ارونیک (۱۵٪) در این صمغ، بیانگر طبیعت پلی‌الکترولیت و حالت آنیونی آن است (Karazhiyan et al., 2009; Nerkar and Gattan, 2012) به‌طور کلی این صمغ دارای

1 Garden cress
2 Cress seed gum

خصوصیات رئولوژیکی، امولسیون‌کنندگی، کف‌کنندگی مطلوب و همچنین پایداری در گستره وسیعی از حرارت، سرما، نمک و pH با اثرات سینرژیک در حضور قندها (ساکارز، لاکتوز) می‌باشد که این ویژگی‌ها را در تثبیت امولسیون‌ها و کف‌ها حائز اهمیت است. طی بررسی‌های صورت گرفته پایداری بالای صمغ دانه شاهی در طول فرآیندهای مختلف، مربوط به کنفورماسیون زنجیری نیمه سخت و نسبت بالای مانوز به گالاکتوز (۸/۲٪) این صمغ است که آن را برای استفاده در محصولات غذایی با اهداف مختلف و کاهش آثار تخریبی ناشی از فرآیندهای حرارتی مناسب می‌سازد (Behrouzian et al., 2013; Naji et al., 2012; Naji, Razavi and Karazhiyan, 2012; Naji and Razavi, 2014).

هدف کلی از این پژوهش، دستیابی به نقطه بهینه تعامل الکترواستاتیک نسبت‌های مختلف کنسانتره پروتئین آب پنیر با صمغ دانه شاهی در دامنه pH ۲ تا ۷ به روش سطح پاسخ و بررسی خواص کف‌زایی کمپلکس کوآسروآت در نقطه بهینه در مقایسه با پروتئین شاهد خالص در همان نسبت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه این پژوهش شامل دانه شاهی از عطاری سطح شهر مشهد، کنسانتره پروتئین آب پنیر با خلوص ۸۰٪ از شرکت میلی آلمان و هیدروکلریک اسید با خلوص ۳۷٪ از شرکت مرک تهیه گردید.

استخراج صمغ دانه شاهی

صمغ دانه شاهی از دانه کاملاً بوجاری شده و سالم شاهی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و pH=۷ درحالی که مخلوط آب مقطر به دانه با نسبت ۱:۳۷ به مدت ۱۸ دقیقه هم‌زده می‌شد استخراج گردید (Karazhiyan et al., 2011). عملیات جداسازی صمغ از دانه متورم شده شاهی توسط اکسترکتور مجهز به صفحه چرخنده (استخراج کننده آزمایشگاهی، پارس خزر، ایران) انجام گرفت. محلول به‌دست آمده جهت جداسازی دانه‌ها و ذرات جانبی از صافی عبور داده شد و سپس جهت خشک شدن با قرار دادن آن‌ها در ظروف پلاستیکی به آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انتقال یافت. صمغ خشک برای استفاده در پژوهش توسط آسیاب آزمایشگاهی پودر و در ظرف دربسته در یخچال نگهداری شد.

تهیه پراکنش‌های صمغ و پروتئین

پودرهای پروتئین و پلی‌ساکارید توسط ترازوی چهار صفر آزمایشگاهی با دقت بالا وزن شدند و به‌طور مجزا با آب مقطر به غلظت ۱٪ (وزنی/ وزنی) رسیدند. جهت جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها، سدیم آزاید به میزان ۰/۰۲٪ به محلول پروتئینی

کواسروات با تعادل جرم محاسبه شد (Espinosa-Andrews *et al.* 2007).

$$(1) \quad \frac{100}{1} \times \frac{\text{وزن رسوب خشک شده} - \text{وزن کل بیوپلیمر}}{\text{وزن کل بیوپلیمر}} = \text{فراکسیون فاز رسوب}$$

تعیین خواص کف‌زایی نقطه بهینه

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف هر یک از محلول پروتئین آب پنیر به‌عنوان شاهد و مخلوط پروتئین: پلی‌ساکارید در نقطه بهینه به‌عنوان تابعی از pH در غلظت کل بیوپلیمر (۰/۳٪ وزنی/ وزنی) به روش اشاره شده توسط Adebawale و همکاران (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۵۰ میلی‌لیتر از هر نمونه در استوانه مدرج ریخته و با استفاده از هموژنایزر (T25 Ultra Turrax Digital) به مدت ۵ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه هموژنیزه گردید. بعد از ثبت حجم نمونه بعد و قبل از هم زدن، ظرفیت کف‌کنندگی از فرمول زیر محاسبه شد:

$$(2) \quad \frac{\text{حجم محلول اولیه} - \text{حجم کف بعد هموژناسیون}}{\text{حجم محلول اولیه}} \times 100 = \text{درصد توانایی کف زایی}$$

برای تعیین پایداری کف، تغییرات حجم نمونه‌ها در استوانه مدرج در مدت زمان ۳۰ دقیقه بعد از نگهداری ثبت و از فرمول زیر محاسبه شد:

$$(3) \quad \frac{\text{حجم کف بعد از مدت زمان ماندگاری}}{\text{حجم اولیه کف}} \times 100 = \text{درصد پایداری کف}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش مطابق جدول ۱ از دو متغیر مستقل شامل نسبت بیوپلیمرها در دامنه ۵-۰/۲ (وزنی/ وزنی) و pH تعامل با دامنه ۲ تا ۷ بر مبنای متغیرهای پاسخ شامل کدورت و رسوب از روش سطح پاسخ (RSM) و در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) با دو متغیر مستقل در دو سطح و ۵ تکرار در نقطه مرکزی با انتخاب ۲۱ نقطه آزمایشی به‌صورت تصادفی جهت بهینه‌یابی تعامل الکترواستاتیک کنسانتره پروتئین آب پنیر با صمغ دانه شاهی استفاده و نتایج با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ویرایش ۱۰ تجزیه تحلیل شد. در این طرح آزمایشی با بررسی منابع صورت گرفته، نقاط حداکثر، میانی و حداقل برای دو متغیر مستقل و نقاط حداکثر برای متغیرهای پاسخ انتخاب شدند. آنالیز آماری در بررسی خواص کف زایی با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب ویرایش ۱۹ انجام شد و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

اضافه شد. محلول پروتئین آب پنیر در دمای محیط به مدت ۱ ساعت و محلول صمغ دانه شاهی به مدت ۲۳ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌وسیله همزن مغناطیسی با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه تهیه، و جهت هیدراتاسیون هردو ترکیب به مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

تهیه مخلوط پروتئین-پلی‌ساکارید

تهیه مخلوط‌های پروتئین-پلی‌ساکارید در جهت بهینه‌یابی تعامل الکترواستاتیک، نسبت وزنی بیوپلیمرها (۵:۱ تا ۵:۱ وزنی/ وزنی) و pH تعامل (۲ تا ۷) به‌عنوان متغیرها مورد بررسی قرار گرفتند. مخلوط‌ها، در نسبت تعیین شده توسط نرم‌افزار و غلظت کل بیوپلیمر ۰/۳٪، از پراکنش شاهد پروتئین و صمغ تهیه و بعد از هم دما شدن با محیط و ۱۵ دقیقه هم خوردن، به وسیله اسید کلریدریک ۰/۱، ۰/۵ و ۱ نرمال در pH مورد نظر تنظیم، و جهت حصول اطمینان کامل، عمل هم‌زدن به مدت ۵ دقیقه در هر pH با همزن مغناطیسی با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه انجام شد.

کدورت‌سنجی

چگالی نوری (OD) مخلوط‌های پروتئین: پلی‌ساکارید به‌عنوان تابعی از pH و نسبت در غلظت کل بیوپلیمر ۰/۳٪ توسط اسپکتروفتومتری نوری مرئی-فرابنفش (یونیکو، S-2150، آمریکا) ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری چگالی نوری، نمونه‌ها با حجم ۳ میلی‌لیتر در pH مورد نظر در داخل کووت‌های کوارتزی با طول عبور نور ۱ سانتی‌متر قرار گرفت و چگالی نوری در طول موج ۶۰۰ نانومتر ثبت شد. در تمامی نمونه‌ها از آب مقطر به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد (Espinosa-Andrews *et al.*, 2007, Raoufi *et al.*, 2016, Timilsena *et al.*, 2015).

اندازه‌گیری عملکرد کمپلکس کواسروات با اندازه‌گیری

رسوبات

به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند کمپلکس کواسروات، عملکرد کواسروات حاصل از اثر متقابل کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ دانه شاهی به‌عنوان تابعی از pH و نسبت پروتئین به صمغ، با اندازه‌گیری فاز رسوب بررسی شد. محلول‌ها پس از تنظیم pH، به‌منظور تثبیت واکنش، به مدت ۲ ساعت در دمای محیط نگهداری شده و سپس جهت جداسازی فاز رسوب از فاز شناور با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ (Hettich EBA 20 centrifuge) شدند. فاز رسوب به مدت ۱۵ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. با استفاده از معادله زیر، عملکرد

جدول ۱- متغیرهای مستقل و سطوح مورد استفاده در سطح طرح پاسخ

متغیرها	واحد	کد و سطوح مربوطه
		+۱ ۰ -۱
نسبت بیوپلیمرها (A)	گرم	۵ ۲/۶ ۰/۲
pH تعامل (B)	میلی‌ولت	۷ ۴/۵ ۲

جدول ۲- طرح مرکب مرکزی پیشنهادی توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت برای متغیرهای مستقل تحقیق

ردیف	اجرا	نسبت پروتئین: پلی ساکارید (وزنی/وزنی)	pH
۱	۱۳	۰/۲	۲
۲	۴	۰/۲	۲
۳	۱۲	۵	۲
۴	۶	۵	۲
۵	۱۴	۰/۲	۷
۶	۹	۰/۲	۷
۷	۱۷	۵	۷
۸	۱۸	۵	۷
۹	۱۵	۰/۲	۴/۵
۱۰	۱۶	۰/۲	۴/۵
۱۱	۳	۵	۴/۵
۱۲	۵	۵	۴/۵
۱۳	۲	۲/۶	۲
۱۴	۲۱	۲/۶	۲
۱۵	۲۰	۲/۶	۷
۱۶	۱	۲/۶	۷
۱۷	۸	۲/۶	۴/۵
۱۸	۷	۲/۶	۴/۵
۱۹	۱۹	۲/۶	۴/۵
۲۰	۱۱	۲/۶	۴/۵
۲۱	۱۰	۲/۶	۴/۵

نتایج و بحث

آنالیز واریانس و برازش مدل

نتایج آنالیز واریانس در جدول شماره ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیز مقدار P ، بهترین مدل برای برازش نتایج آزمون، مدل درجه دوم می باشد. همانطور که در جدول مشاهده می شود مدل درجه دوم برای هر دو متغیر پاسخ بسیار معنی دار ($p < 0.01$) شده است. در جدول شماره ۴ نتایج آنالیز واریانس و ضرایب رگرسیون مدل درجه دوم برای پاسخها، و همچنین پیش بینی نتایج آزمایشگاهی بر اساس شاخص های مقدار P ، مقدار F ، ضریب

تبیین (R^2)، ضریب تبیین اصلاح شده (R^2_{adjusted})، عدم برازش^۱ و ضریب تغییرات ($C.V.$)^۲ آورده شده است. طبق نتایج مشاهده می شود که ضریب تبیین برای پاسخ کدورت و مقدار رسوب به ترتیب ۰/۹۹۴۵ و ۰/۹۸۵۷ حاصل شده است، که نشان دهنده مورد اعتماد بودن مدل درجه دوم برای برازش نتایج آزمایشگاهی می باشد. از ضریب تبیین اصلاح شده جهت تایید نهایی مدل برازش یافته استفاده شد که به ترتیب برای پاسخ کدورت و مقدار رسوب، ۰/۹۹۶۱ و ۰/۹۸۹۳ به دست آمد. ضریب تغییرات (CV) که میزان پراکنش داده ها را مشخص می کند برای هر دو پاسخ در حد نرمال بوده و به ترتیب برای

1 Lack of fit

2 Coefficient of variation

کدورت و مقدار رسوب، ۳/۶۷ و ۶/۳۳ به دست آمد. فاکتور عدم برازش چهارمین پارامتری است که مورد بررسی قرار گرفت که عدم معنی دار بودن این شاخص نشان از برازش صحیح نتایج بر روی مدل مورد

جدول ۳- آنالیز واریانس مدل‌های برآزش یافته بر متغیرهای پاسخ

مقدار رسوب					کدورت					پاسخ
P	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	P	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
-	-	۴۹۷/۳۷	۴۹۷/۳۷	۱	-	-	۴۱۸۲۰/۱۱	۴۱۸۲۰/۱۱	۱	میانگین
۰/۲۴۱۴	۱/۵۴	۹/۷۱	۱۹/۴۱	۲	۰/۶۸۶۶	۰/۳۸	۲۲۳/۹۲	۴۴۷/۸۳	۲	خطی
۰/۴۲۱۷	۰/۶۸	۴/۳۵	۴/۳۵	۱	۰/۹۳۰۲	۰/۰۰۷۹۴	۴/۹۲	۴/۹۲	۱	خطی تعمیم یافته
<۰/۰۰۰۱	۵۶۷/۶۹	۵۳/۸۵	۱۰۷/۷۰	۲	<۰/۰۰۰۱	۱۵۶۳/۷۲	۴۶۳۱/۲۴	۹۲۶۲/۴۷	۲	درجه دو
۰/۵۶۱۷	۰/۶۰	۰/۰۶۰	۰/۱۲	۲	۰/۲۱۴۰	۱/۷۸	۴/۷۱	۹/۴۱	۲	درجه سه
-	-	۰/۱۰	۱/۳۰	۱۳	-	-	۲/۶۴	۲۹/۰۹	۱۱	باقیمانده
-	-	۳۰/۰۱	۶۳۰/۲۶	۲۱	-	-	۲۷۱۴/۴۱	۵۱۵۷۳/۸۴	۱۹	کل

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس و ضرایب رگرسیون مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای متغیرهای پاسخ

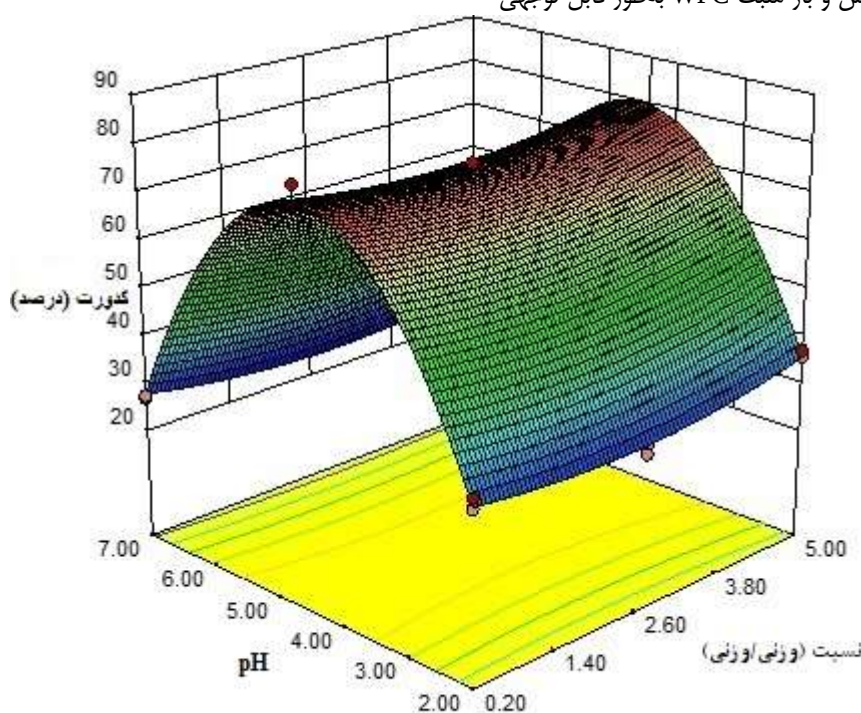
منابع-پاسخ										کدورت										رسوب									
درجه آزادی		مجموع مربعات		میانگین مربعات		مقدار F		مقدار P		درجه آزادی		مجموع مربعات		میانگین مربعات		مقدار F		مقدار P		درجه آزادی		مجموع مربعات		میانگین مربعات		مقدار F		مقدار P	
۵		۹۷۱۵/۲۲		۱۹۴۳/۰۴		۶۵۶/۰۶		<۰/۰۰۰۱		۵		۱۳۱/۴۶		۲۶/۲۹		۲۷۷/۱۹		<۰/۰۰۰۱		۵		۱۳۱/۴۶		۲۶/۲۹		۲۷۷/۱۹		<۰/۰۰۰۱	
۱		۵/۶۰		۵/۶۰		۱/۸۹		۰/۱۹۲۵		۱		۱۲/۸۱		۶/۶۰		۶۹/۵۹		<۰/۰۰۰۱		۱		۱۲/۸۱		۱۲/۸۱		۶۹/۵۹		<۰/۰۰۰۱	
۱		۱۲۱/۳۳		۱۲۱/۳۳		۴۰/۹۷		<۰/۰۰۰۱		۱		۴/۳۵		۴/۳۵		۴۵/۸۷		<۰/۰۰۰۱		۱		۴/۳۵		۴/۳۵		۴۵/۸۷		<۰/۰۰۰۱	
۱		۵۴/۲۱		۵۴/۲۱		۱۸/۳۰		۰/۰۰۰۹		۱		۱۰۷/۳۷		۳/۰۴		۳۲/۰۶		<۰/۰۰۰۱		۱		۱۰۷/۳۷		۱۰۷/۳۷		۳۲/۰۶		<۰/۰۰۰۱	
۱		۸۲۲۲/۴۶		۸۲۲۲/۴۶		۲۷۷۶/۲۸		<۰/۰۰۰۱		۱		۱۱۳۱		۰/۰۹۵		۰/۳۸		<۰/۰۰۰۱		۱		۱۱۳۱		۱۱۳۱		۰/۳۸		<۰/۰۰۰۱	
۱۳		۳۸/۵۰		۲/۹۶		-		-		۱۵		۱/۴۲		۰/۰۹۵		-		-		۱۳		۱/۴۲		۱/۴۲		۰/۰۹۵		-	
۲		۹/۴۱		۴/۷۱		۱/۷۸		۰/۲۱۴۰		۳		۰/۱۲		۰/۰۴۲		۰/۳۸		۰/۷۶۶۰		۲		۰/۱۲		۰/۰۴۲		۰/۳۸		۰/۷۶۶۰	
۱۱		۲۹/۰۹		۲/۶۴		-		-		۱۲		۱/۳۰		۰/۱۱		-		-		۱۱		۱/۳۰		۱/۳۰		۰/۱۱		-	
۱۸		۹۷۵۳/۷۳		-		-		-		۲۰		۱۳۲/۸۹		-		-		-		۱۸		۱۳۲/۸۹		۱۳۲/۸۹		-		-	
		۰/۹۹۴۵												۰/۹۸۵۷										۰/۹۸۵۷					
		۰/۹۹۶۱												۰/۹۸۹۳										۰/۹۸۹۳					
		۳/۶۷												۶/۳۳										۶/۳۳					

کدورت

نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون مدل بر پاسخ کدورت نشان داد که اثر خطی نسبت پروتئین به پلی ساکارید، روی کدورت بی معنی بوده اما اثر خطی pH معنی دار ($p < 0.01$) است. اما در مورد اثر متقابل دو متغیر بر کدورت بی معنی بود و اثر درجه دو نسبت معنی دار ($p < 0.05$) و اثر درجه دو pH معنی دار به دست آمد. اما در نهایت مدل پیشگویی کدورت به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل نسبت دو بیوپلیمر و pH به صورت معادله ذیل به دست آمد.

$$Y = 75.4 + 0.79 A - 3.18 B - 0.78 AB - 48.09 B^2 + 3.74 A^2 \quad (۱)$$

در شکل ۱ تغییرات کدورت در مقابل متغیرهای مستقل نسبت دو بیوپلیمر و pH نشان داده شده است. همانطور که از نمودار سه بعدی مشخص است دامنه کدورت در این تحقیق ۲۵/۳۳ تا ۸۱/۷۶ به دست آمده است. مطابق نمودار با کاهش pH از حدود ۴/۵ تا ۲، کدورت کاهش پیدا کرده است که علت آن می تواند کاهش pH به زیر نقطه ایزوالکتریک پروتئین (۴/۵-۵) (LEE, MORR, and HA 1992) و شروع شکسته شدن انواع کمپلکس و پیوندها باشد. زیرا در این دامنه از pH، بار منفی CSG کاهش و بار مثبت WPC به طور قابل توجهی



شکل ۱- نمودار سه بعدی تغییرات کدورت در مقابل نسبت پروتئین به پلی ساکارید و pH

رو به افزایش می رود، از این رو، ممکن است تنها تعدادی مجتمع های محلول تشکیل شود که حاصل اتصال توده های پروتئینی و تقابل الکترواستاتیک باقی مانده از کربوکسیلیک اسید حاوی بار الکتریکی بالا باشند (Stone and Nickerson 2012) و یا در واقع ممکن است هیچگونه کمپلکس وجود نداشته باشد (Vinayahan, Williams, and Phillips 2010). از طرف دیگر هرچقدر از pH ۵ به سمت pH ۷ حرکت می کنیم نیز با کاهش کدورت مواجه می شویم. این ناسازگاری ترمودینامیکی به دلیل دافع الکترواستاتیک قوی بین صمغ دانه شاهی و ملکول های پروتئین هم بار در این دامنه pH است که با ممانعت از اتصال، موجب حل پذیری بیوپلیمرها و در نتیجه آن کاهش کدورت شد (Salminen and Weiss 2014). مطابق شکل ۱، روند تغییر کدورت در مقابل نسبت اختلاط پروتئین-پلی ساکارید متغیر بود، اما بالاترین کدورت در نسبت ۵:۱ در مقایسه با سایر نسبت ها حاصل شد که علت آن کاهش در تعداد حضور گروه های کربوکسیلیک باند نشده و به تناسب کاهش دافعه بیوپلیمرها به دلیل حضور کمتر صمغ دانه شاهی دانست که با تشکیل کمپلکس قوی تر، کدورت بیشتری حاصل می شود (Stone and Nickerson 2012).

روی مقدار رسوب معنی دار ($p < 0.01$) می باشد. در مورد اثر متقابل دو متغیر و اثرات درجه دو بر روی مقدار نیز معنی دار ($p < 0.01$) گزارش

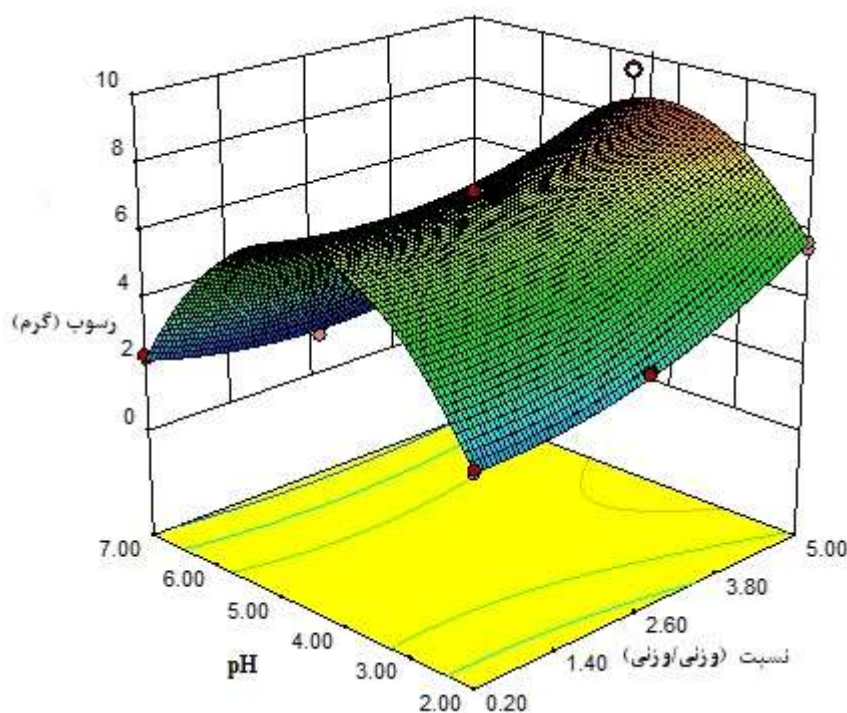
مقدار رسوب

نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون مدل بر روی پاسخ کدورت (جدول ۴) نشان داد که اثر خطی نسبت پروتئین به پلی ساکارید و pH بر

شده است. اما در نهایت مدل پیشگویی مقدار رسوب به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل نسبت و pH به‌صورت معادله ۲ به‌دست آمد.

$$Y = 7.09 + 0.74 A - 1.03 B - 0.74 AB + 0.79 B^2 - 4.69 A^2 \quad (2)$$

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود تغییرات مقدار رسوب در مقابل متغیرهای مستقل نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید و pH آورده شده است. با توجه به نمودار، و مطابق پژوهش (Raoufi et al. 2016)، به‌ترتیب با کاهش و افزایش pH از ۴/۵ به ۲ و ۷، به دلیل کاهش در کمپلکس بین دو بیوپلیمر، کاهش در مقدار رسوب‌گذاری اتفاق می‌افتد. علاوه بر این در pHهای پایین به دلیل پروتون‌سازی گروه‌های کربوکسیلیک پلی‌ساکارید و در pHهای بالاتر از ۵ به دلیل دوری از ایزوالکتریک پروتئین (Oduse et al. 2018; Hasanvand, Rafe, and Emadzadeh 2018)



شکل ۲- نمودار سه بعدی تغییرات مقدار رسوب (درصد) در مقابل متغیرهای مستقل نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید و pH

تهیه امولسیون، با بیشترین میزان رسوب حاصل از تعامل الکترواستاتیک قوی در نسبت ۱:۶ و pH=۲/۷ مشاهده شد.

بهینه‌یابی و اعتبارسنجی

شرایط بهینه استخراج جهت دستیابی به حداکثر کدورت و مقدار رسوب با استفاده از روش سطح پاسخ، با درجه مطلوبیت ۰/۹۳۸ نقاط بهینه تعیین شد. نتایج پیشنهاد شده توسط نرم‌افزار در جدول ۵ آورده شده است. نقاط پیش‌بینی شده در آزمایشگاه با ۳ تکرار مورد آزمون

Lv و همکاران (۲۰۱۲) بهینه مخلوط پروتئین ژلاتین: صمغ عربی برای تهیه میکروکپسولاسیون را در نسبت ۱:۱ و pH=۴/۱ با بیشترین رسوب به‌دست آورد. رئوفی و همکاران (۲۰۱۶) از تعامل الکترواستاتیک ایزوله پروتئین آب پنیر و صمغ تراگاکانت با هدف بررسی اثر وزن ملکولی بر نقطه بهینه کواسروا جهت استفاده در صنعت غذایی و دارویی بیشترین رسوب حاصل از نقطه بهینه تعامل را در نسبت ۲:۱ و pH=۳/۴ گزارش کردند. در تحقیق Timilsena و همکاران (۲۰۱۶) بهینه تعامل ایزوله پروتئین چیا با صمغ چیا با هدف

آماري مورد اعتماد می‌باشد. در نقطه بهینه با توجه به متغیرهای مستقل نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید و pH که هر کدام به ترتیب ۵ و ۴/۲ اعلام شده است متغیرهای پاسخ کدورت و ته‌نشینی در این نقاط به ترتیب ۸۳/۷۹ و ۷۵/۸ تعیین شد.

قرار گرفت. با انجام آزمون t تست مشخص شد که اختلاف معناداری بین پیش‌بینی نرم‌افزار و نتایج آزمایشگاهی وجود ندارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و آنالیز آماری می‌توان ادعا کرد نتایج به‌دست آمده بر روی مدل انتخاب شده بخوبی برازش شده‌اند و نتایج حاصل از نظر

جدول ۵- کمینه و بیشینه پاسخ‌های به‌دست‌آمده بر اساس طرح سطح پاسخ بهینه‌یابی

ردیف	عنوان آزمون	مقدار کمینه	مقدار بیشینه	مقدار پیش‌بینی شده	مقدار واقعی به‌دست‌آمده	
				تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳
۱	کدورت	۲۵/۳۳	۸۱/۷۶	۷۹/۸۳	۸۰/۲۳	۸۰/۱
۲	مقدار رسوب	۱/۲	۹/۵	۸/۷۵	۸/۵	۹/۱

مرز مشترک آب/ هوا و افزایش ویسکوزیته فاز آبی که زهکشی را با مشکل رو به رو می‌کند دانست (Carp et al., 1999).

پایداری کف

پایداری کف مربوط به درجه از هم پاشیدگی کف در مدت زمان معین شده است (Stone and Nickerson, 2012). در این پژوهش پایداری کف‌ها با اندازه‌گیری حجم ثانویه بعد از تشکیل کف اولیه در مدت زمان ۳۰ دقیقه محاسبه شد. پروتئین‌ها، به‌عنوان ماکرومولکول‌های آمفیپاتیک، به دلیل توانایی در کاهش کشش بین سطحی و ایجاد فیلم چسبناک در مرز مشترک هوا- آب برای تثبیت کف‌ها مزایای بیشتری نسبت به سورفکتانت‌های با وزن مولکولی کم دارند (Borcherdin et al 2008; Wilde 2000; Tamm et al. 2010; Wierenga and Gruppen 2012). همچنین پلی‌ساکاریدها با افزایش ضخامت مایع بین سطحی مشترک حباب‌های هوا (لاملار^۲) همراه با کاهش زهکشی، باعث پایداری کف‌ها می‌شوند. ولی به دلیل خاصیت آبدوست بودن، قابلیت جذب زیادی در مرز مشترک هوا- آب را ندارند، در حالی که برای ایجاد پایداری بهتر در کف‌ها، تشکیل یک فیلم بین سطحی ضخیم ویسکوالاستیک مورد نیاز است. لذا می‌توان گفت پروتئین و پلی‌ساکاریدها در کنار یکدیگر باعث افزایش و بهبود پایداری در کف‌ها می‌شوند (Carp et al, 1999). به‌طور میانگین مقدار پایداری کف‌های پروتئین در این پژوهش از نظر آماری به شکل معناداری ($P < 0.05$) همانند سایر پژوهش‌ها (Stone et al., 2015; Wang et al, 2015; Carp, Bartholomai and Pilosof, 1999; Liu et al., 2010; Makri and Doxastakis, 2007; Stone et al., 2013) تحت تأثیر افزودن صمغ، از $41.4 \pm 1.4\%$ تا $48.9 \pm 1.4\%$ در نمونه شاهد (WPC) به $41.4 \pm 1.4\%$ در نمونه کمپلکس بهینه (WPC:CSG) افزایش یافت. طی بررسی‌های انجام شده پایداری کف در اثر افزودن

خصوصیات کف‌زایی کمپلکس کوآسروات در نقطه بهینه ظرفیت کف‌زایی

ظرفیت کف‌زایی، عبارت است از مقدار کفی که هر مقدار پروتئین (یا کمپلکس) می‌تواند پس از همگن‌سازی تولید کند (Stone et al., 2014). توانایی در شکل‌گیری و تثبیت کف‌ها یک ویژگی مهم عملکردی پروتئین‌ها است و به ساختار، باقی مانده‌های آبگریز و آبدوست، ثبات کف‌ورم‌ماسیونی و تقابل، تغییر مجدد در مرز مشترک آب، روغن/ هوا و شرایط آزمایشگاهی مورد استفاده بستگی دارد (Stone et al. 2015). در حین تشکیل کف، پروتئین‌ها یا کمپلکس‌های پلی‌ساکارید- پروتئین به‌گونه‌ای که گروه‌های آبگریز به سمت فاز غیرقطبی و گروه‌های آبدوست به سمت فاز قطبی قرار بگیرد، به مرز مشترک آب- هوا مهاجرت و رسوب کرده تا یک فیلم ویسکوالاستیک اطراف حباب گاز تشکیل شود (Stone et al., 2014). ظرفیت کف‌زایی و پایداری کف در سیستم مخلوط بهینه (پروتئین آب پنیر: صمغ دانه شاهی) همراه با محلول‌های پروتئین خالص (به‌عنوان شاهد) در نسبت ۵ به‌عنوان تابعی از pH ۴/۲ با اندازه‌گیری حجم افزوده شده به سیستم محلول بعد از عمل هم‌زدن در سرعت و زمان معین مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش همانند مطالعاتی که Makri و همکاران (۲۰۰۵) و Carp و همکاران (۱۹۹۹)، انجام دادند که در اثر افزودن صمغ زانتان بر پروتئین‌های ایزوله لوبین^۱، نخود فرنگی، لوبیا و پروتئین سویا، افزودن صمغ شاهی به پروتئین آب پنیر به‌طور قابل توجهی ($P < 0.01$) موجب بهبود خاصیت کف‌زایی از پروتئین‌های خالص شاهد با میانگین $110.7 \pm 1.4\%$ به کمپلکس بهینه با میانگین $176.599 \pm 0.707\%$ شد. اما به‌طور کلی طی بررسی‌های انجام شده در دیگر پژوهش‌ها علت افزایش کف‌زایی در کمپلکس‌ها را می‌توان به تأثیر صمغ بر افزایش حجم کف، کاهش فروپاشی حباب، بهبود جذب پروتئین در

پاسخ‌هایی مورد مطالعه (کدورت و درصد رسوب) تاثیر گذاشته است، اگرچه بیشترین اثر را pH داشته است. شرایط بهینه برای تشکیل حداکثر کمپلکس کواسروات پروتئین-پلی‌ساکارید در نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید ۵:۱ (وزنی/ وزنی) و pH ۴/۲۴ به‌دست آمد. نتایج بررسی خواص کف‌زایی در نقطه بهینه افزایش در ظرفیت کف‌زایی و پایداری کف را در مقایسه با پروتئین خالص (نمونه شاهد) نشان داد. این افزایش در خواص کف‌زایی احتمالاً نتیجه حضور صمغ دانه شاهی و تاثیر آن بر تشکیل فیلم ضخیم ویسکوالاستیک، بهبود جذب پروتئین در سطح مشترک و افزایش ویسکوزیته فاز توده بوده است.

پلی‌ساکاریدها و تشکیل کمپلکس از طریق جذب بهتر در مرز مشترک آب-هوا و تشکیل یک فیلم ویسکوالاستیک بین حباب‌های هوای مجاور هم (Makri and Doxastakis, 2007) و همچنین نیروهای چسباننده قابل توجه در بین بیوپلیمرها که از طریق افزایش ویسکوزیته فاز توده حاصل شده است (Martinez et al., 2007; Makri and Dickinson, 2003 Schmitt et al., 1998) Doxastakis, 2007; مبوط می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی با روش سطح پاسخ نشان داد متغیرهای مستقل (نسبت پروتئین آب پنیر به صمغ دانه شاهی و pH) در این تحقیق بر

منابع

- Adebowale, Y. A., I. A. Adeyemi, and A. A. Oshodi. 2005. "Functional and Physicochemical Properties of Flours of Six Mucuna Species." *African Journal of Biotechnology* 4 (12): 1461–68. <https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3223>.
- Behrouzian, Fataneh, Seyed M.A. Razavi, and Hojjat Karazhiyan. 2013. "The Effect of PH, Salts and Sugars on the Rheological Properties of Cress Seed (*Lepidium Sativum*) Gum." *International Journal of Food Science and Technology* 48 (12): 2506–13.
- Carp, D. J., G. B. Bartholomai, and A. M.R. Pilosof. 1999. "Electrophoretic Studies for Determining Soy Proteins-Xanthan Gum Interactions in Foams." *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 12 (3–6): 309–16.
- Cavallieri, Angelo L.F., Natalia Amanda Vieira Fialho, and Rosiane L. Cunha. 2011. "Sodium Caseinate and κ -Carrageenan Interactions in Acid Gels: Effect of Polysaccharide Dissolution Temperature and Sucrose Addition." *International Journal of Food Properties* 14 (2): 251–63.
- Dickinson, Eric. 1992. "Structure and Composition of Adsorbed Protein Layers and the Relationship to Emulsion Stability" 88 (20): 2973–83.
- E. Makri, E. Papalamprou, G. Doxastakis* Laboratory. 2005. "Study of Functional Properties of Seed Storage Proteins from Indigenous European Legume Crops (Lupin, Pea, Broad Bean) in Admixture with Polysaccharides." *Food Hydrocolloids* 19 (3): 583–94.
- Espinosa-Andrews, Hugo, Juan G. Báez-González, Francisco Cruz-Sosa, and E. Jaime Vernon-Carter. 2007. "Gum Arabic-Chitosan Complex Coacervation." *Biomacromolecules* 8 (4): 1313–18.
- Forschen, Sci. 2017. "Sci Forschen Nutrition and Food Technology : Open Access Relation with Interfacial Properties."
- Gaonkar, Anilkumar G., and Andrew McPherson. 2006. "Ingredient Interactions Effects on Food Quality," 573.
- Harnsilawat, Thepkunya, Rungnaphar Pongsawatmanit, and D. J. McClements. 2006. "Characterization of β -Lactoglobulin-Sodium Alginate Interactions in Aqueous Solutions: A Calorimetry, Light Scattering, Electrophoretic Mobility and Solubility Study." *Food Hydrocolloids* 20 (5): 577–85.
- Hasanvand, Elham, Ali Rafe, and Bahareh Emadzadeh. 2018. *Phase Separation Behavior of Flaxseed Gum and Rice Bran Protein Complex Coacervates*. Food Hydrocolloids. Vol. 82. Elsevier Ltd.
- Huang, Guo Qing, Yan Ting Sun, Jun Xia Xiao, and Jian Yang. 2012. "Complex Coacervation of Soybean Protein Isolate and Chitosan." *Food Chemistry* 135 (2): 534–39.
- J.M.R.Patino, Ana M.R. Pilosof. 2011. "Protein-Polysaccharide Interactions at Fluid Interfaces." *Food Hydrocolloids* 25 (8): 1925–37.
- Jones, Owen G., Uri Lesmes, Paul Dubin, and David Julian McClements. 2010. "Effect of Polysaccharide Charge on Formation and Properties of Biopolymer Nanoparticles Created by Heat Treatment of β -Lactoglobulin-Pectin Complexes." *Food Hydrocolloids* 24 (4): 374–83.
- K. Borcherdin, P. Chr. Lorenzen, W. Hoffmann, K. Schrader, and Max. 2008. "Effect of Foaming Temperature and Varying Time/Temperature-Conditions of Pre-Heating on the Foaming Properties of Skimmed Milk." *International Dairy Journal* 18 (4): 349–58.
- Karazhiyan, Hojjat, Seyed M.A. Razavi, Glyn O. Phillips, Yapeng Fang, Saphwan Al-Assaf, and Katsuyoshi Nishinari. 2011. "Physicochemical Aspects of Hydrocolloid Extract from the Seeds of *Lepidium Sativum*." *International Journal of Food Science and Technology* 46 (5): 1066–72.
- Karazhiyan, Hojjat, Seyed M.A. Razavi, Glyn O. Phillips, Yapeng Fang, Saphwan Al-Assaf, Katsuyoshi Nishinari, and Reza Farhoosh. 2009. "Rheological Properties of *Lepidium Sativum* Seed Extract as a Function of Concentration,

- Temperature and Time.” *Food Hydrocolloids* 23 (8): 2062–68.
- LEE, SHIH-YOUNG -Y, CHARLES V. MORR, and EWAN Y.W. HA. 1992. “Structural and Functional Properties of Caseinate and Whey Protein Isolate as Affected by Temperature and PH.” *Journal of Food Science* 57 (5): 1210–29.
- Liu, S., C. Elmer, N. H. Low, and M. T. Nickerson. 2010. “Effect of PH on the Functional Behaviour of Pea Protein Isolate-Gum Arabic Complexes.” *Food Research International* 43 (2): 489–95.
- Ly, Yi, Xiaoming Zhang, Shabbar Abbas, and Eric Karangwa. 2012. “Simplified Optimization for Microcapsule Preparation by Complex Coacervation Based on the Correlation between Coacervates and the Corresponding Microcapsule.” *Journal of Food Engineering* 111 (2): 225–33.
- Makri, Eleousa A., and Georgios I. Doxastakis. 2007. “Surface Tension of Phaseolus Vulgaris and Coccineus Proteins and Effect of Polysaccharides on Their Foaming Properties.” *Food Chemistry* 101 (1): 37–48.
- Martinez, Karina D., Cecilio Carrera Sanchez, Victor Pizones Ruiz-Henestrosa, Juan M. Rodríguez Patino, and Ana M.R. Pilosof. 2007. “Soy Protein-Polysaccharides Interactions at the Air-Water Interface.” *Food Hydrocolloids* 21 (5–6): 804–12.
- Naji, Sara, Seyed M.A. Razavi, and Hojjat Karazhiyan. 2012. “Effect of Thermal Treatments on Functional Properties of Cress Seed (*Lepidium Sativum*) and Xanthan Gums: A Comparative Study.” *Food Hydrocolloids* 28 (1): 75–81.
- Naji, Sara, Seyed M.A. Razavi, Hojjat Karazhiyan, and Arash Koocheki. 2012. “Influence of Thermal Treatments on Textural Characteristics of Cress Seed (*Lepidium Sativum*) Gum Gel.” *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 11 (3): 222–37.
- Naji, Sara, and Seyed M.A. Razavin. 2014. “Functional and Textural Characteristics of Cress Seed (*Lepidium Sativum*) Gum and Xanthan Gum: Effect of Refrigeration Condition.” *Food Bioscience* 5: 1–8.
- Nerkar, Pankaj Padmakar, and Surendra Ganeshlal Gattan. 2012. “Cress Seed Mucilage Based Buccal Mucoadhesive Gel of Venlafaxine: In Vivo, in Vitro Evaluation.” *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 23 (3): 771–79.
- Nicorescu, I., C. Loisel, C. Vial, A. Riaublanc, G. Djelveh, G. Cuvelier, and J. Legrand. 2008. “Combined Effect of Dynamic Heat Treatment and Ionic Strength on Denaturation and Aggregation of Whey Proteins - Part I.” *Food Research International* 41 (7): 707–13.
- Oduse, Kayode, Lydia Campbell, Julien Lonchamp, and Stephen R. Euston. 2018. “Electrostatic Complexes of Whey Protein and Pectin as Foaming and Emulsifying Agents.” *International Journal of Food Properties* 20 (3): S3027–41.
- Raoufi, Nassim, Rassoul Kadkhodaei, Glyn O. Phillips, Yapeng Fang, and Masoud Najaf Najafi. 2016. “Characterisation of Whey Protein Isolate-Gum Tragacanth Electrostatic Interactions in Aqueous Solutions.” *International Journal of Food Science and Technology* 51 (5): 1220–27.
- Salminen, Hanna, and Jochen Weiss. 2014. “Effect of Pectin Type on Association and PH Stability of Whey Protein-Pectin Complexes.” *Food Biophysics* 9 (1): 29–38.
- Sanchez, C., M. Pouliot, S. F. Gauthier, and P. Paquin. 1997. “Thermal Aggregation of Whey Protein Isolate Containing Microparticulated or Hydrolyzed Whey Proteins.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (7): 2384–92.
- Scheer, August-wilhelm, Helmut Kruppke, and Ralf Heib. 2001. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH*.
- Schmitt, Christophe, Christian Sanchez, Sylvie Desobry-Banon, and Joël Hardy. 1998. “Critical Reviews in Food Science and Nutrition Structure and Technofunctional Properties of Protein- Polysaccharide Complexes : A Review Structure and Technofunctional Properties of Protein-Polysaccharide Complexes : A Review.” *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 38 (8): 689–753.
- Schmitt, Christophe, and Sylvie L. Turgeon. 2011. “Protein/Polysaccharide Complexes and Coacervates in Food Systems.” *Advances in Colloid and Interface Science* 167 (1–2): 63–70.
- Shu, Yu Wei, Sigehiro Sahara, Soichiro Nakamura, and Akio Kato. 1996. “Effects of the Length of Polysaccharide Chains on the Functional Properties of the Maillard-Type Lysozyme-Polysaccharide Conjugate.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44 (9): 2544–48.
- Stone, Andrea K., Lam Lam Cheung, Chang Chang, and Michael T. Nickerson. 2013. “Formation and Functionality of Soluble and Insoluble Electrostatic Complexes within Mixtures of Canola Protein Isolate and (κ -, ι - and λ -Type) Carrageenan.” *Food Research International* 54 (1): 195–202.
- Stone, Andrea K., and Michael T. Nickerson. 2012. “Formation and Functionality of Whey Protein Isolate-(Kappa-, Iota-, and Lambda-Type) Carrageenan Electrostatic Complexes.” *Food Hydrocolloids* 27 (2): 271–77.
- Stone, Andrea K., Anzhelika Teymurova, Chang Chang, Lam Lam Cheung, and Michael T. Nickerson. 2015. “Formation and Functionality of Canola Protein Isolate with Both High- and Low-Methoxyl Pectin under Associative Conditions.” *Food Science and Biotechnology* 24 (4): 1209–18.
- Stone, Andrea K., Anzhelika Teymurova, and Michael T. Nickerson. 2014. “Formation and Functional Attributes of Canola Protein Isolate-Gum Arabic Electrostatic Complexes.” *Food Biophysics* 9 (3): 203–12.
- Tamm, F., G. Sauer, M. Scampicchio, and S. Drusch. 2012. “Pendant Drop Tensiometry for the Evaluation of the Foaming Properties of Milk-Derived Proteins.” *Food Hydrocolloids* 27 (2): 371–77.

- Timilsena, Yakindra Prasad, Bo Wang, Raju Adhikari, and Benu Adhikari. 2015. "Preparation and Characterization of Chia Seed Protein Isolate-Chia Seed Gum Complex Coacervates." *Food Hydrocolloids* 52: 554–63.
- Vinayahan, T., P. A. Williams, and G. O. Phillips. 2010. "Electrostatic Interaction and Complex Formation between Gum Arabic and Bovine Serum Albumin." *Biomacromolecules* 11 (12): 3367–74.
- Wang, Bo, Benu Adhikari, and Colin J. Barrow. 2014. "Optimisation of the Microencapsulation of Tuna Oil in Gelatin-Sodium Hexametaphosphate Using Complex Coacervation." *Food Chemistry* 158: 358–65.
- Wang, Zhengshan, Sha Zhang, and Bongkosh Vardhanabhuti. 2015. "Foaming Properties of Whey Protein Isolate and λ -Carrageenan Mixed Systems." *Journal of Food Science* 80 (8): N1893–1902.
- Weinbreck, Fanny, Hans Nieuwenhuijse, Gerard W. Robijn, and Cornelis G. De Kruif. 2003. "Complex Formation of Whey Proteins: Exocellular Polysaccharide EPS B40." *Langmuir* 19 (22): 9404–10.
- Wierenga, P. A., and H. Gruppen. 2010. "New Views on Foams from Protein Solutions." *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 15 (5): 365–73.
- Wilde, P. J. 2000. "Interfaces: Their Role in Foam and Emulsion Behaviour." *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 5 (3–4): 176–81.



Optimization of the interaction of whey protein concentrate-cress seed gum using response surface methodology (RSM) and investigating the foaming properties of the optimal sample

Z. Kholoosi¹, M. Mazaheri Tehrani^{2*}, S. M. A. Razavi²

Received: 2020.05.11

Accepted: 2020.07.23

Introduction: Proteins and polysaccharides are natural biopolymers that consider among the most widely used hydrocolloids in the food industry (Gaonkar and McPherson 2006) Which are often used simultaneously to improve functional properties. In electrostatic interaction, positively charged proteins with polysaccharides containing negative groups below the protein isoelectric point (PI) (LEE, MORR, and HA 1992), Leads to the formation of macromolecular particles by creating molecular aggregates rich in biopolymers suspended in the aqueous phase, called complex coacervate, which cause the coagulation and spontaneous separation of the phase. The ratio of protein-polysaccharide biopolymers and the pH of the mixture are important factors influencing the adsorption and compatibility of protein-polysaccharides as well as the characteristics of their aggregates (Shu et al. 1996). For this purpose, the optical density (turbidity) of protein-polysaccharide mixtures and the yield of dried sediments in this study as a basis for optimizing the complex coacervate process as in previous studies (Wang, Adhikari, and Barrow 2014; Huang et al. 2012) were used. In the present study, the optimization of complex coacervate formation conditions of whey protein concentrate-cress seed gum as well as the foaming properties of complex coacervate were studied for the first time. Whey proteins, as amphiphilic macromolecules, can adsorb at the interface (Scheer, Kruppke, and Heib 2001; Tamm et al. 2012; Wierenga and Gruppen, 2010) and form a viscoelastic adsorbent layer (Wilde 2000). Also, whey protein acts as a foaming agent with the ability to be adsorbed at the joint water-oil and water-air interface through hydrophobic interactions or disulfide bridges, and intermolecular bonds (Nicorescu et al. 2008; Nicorescu *et al.*, 2008; Dickinson, 1992; Forschen, 2017). Cress seed gum has rheological, emulsifying, favorable foaming properties and is stable in a wide range of heat, cold, salt, and pH with synergistic effects in the presence of sugars (sucrose, lactose). These properties are important in stabilizing emulsions and foams. The general purpose of this study was to achieve the optimal point of electrostatic interaction of different ratios of whey protein concentrate with cress seed gum in the pH range of 2 to 7 using response surface methodology and to investigate the foaming properties of the coacervate complex at the optimal point in comparison with Pure control protein in the same ratio.

Materials and Methods: The raw materials of this study included cress seed, whey protein concentrate with 80% purity (from Milli com., Germany), and hydrochloric acid with 37% purity (from Merck Com.). Different protein-polysaccharide mixtures were prepared to optimize the electrostatic interaction with the ratio of biopolymers (1: 5 to 5: 1 w / w) and pH of interaction (2 to 7). Mixtures, in the ratio determined by the software and the total concentration of biopolymer (0.3%), were prepared, and after 15 minutes of stirring and equilibration with the environment, were adjusted by hydrochloric acid of 0.1, 0.5, and 1 (n) to the desired pH, and stirred for 5 minutes at each pH with a magnetic stirrer at 400 rpm. Optical Density (OD) of protein: polysaccharide mixtures was evaluated by visible-ultraviolet optical spectrophotometry (Unico, Model S-2150, USA). To optimize the electrostatic complex coacervation process, the coacervation yield was determined. The result of the interaction of whey protein concentrate and cress seed gum as a function of pH and protein to gum ratio was investigated by measuring the sediment phase. For investigation of the foaming properties, the dispersions were homogenized using a homogenizer (Ultra Turrax T25 Digital) for 5 minutes at a speed of 10,000 rpm. After recording the sample volume in the dimension and before homogeneity, the foaming capacity was calculated. To determine the stability of the foam, changes in the volume of the samples were recorded and calculated after 30 minutes of foaming. In this study, the effect of two independent variables including the ratio of biopolymers in the range of 0.2-5 (w/w) and the pH within the range of 2 to 7 were analyzed using Design-Expert software based on two responses including turbidity and yield by the combined central design (CCD) with 5 replications to optimize the electrostatic interaction of whey protein concentrate with cress seed gum.

1 and 2. PhD Student and Professor, Center of Excellence in Native Natural Hydrocolloids of Iran, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

(*Corresponding Author Email: mmtehrani@um.ac.ir)

Results and Discussion: The results obtained by using response surface methodology showed that the independent variables (ratio of whey protein to cress seed gum and pH) in this study affected the studied responses (turbidity and sediment percentage), although pH had the greatest effect. Optimal conditions for the formation of the maximum protein-polysaccharide coacervate complex were obtained in the ratio of protein to polysaccharide 5: 1 (w / w) and pH 4.24. The results of foaming properties at the optimal point showed an increase in foaming capacity and foam stability compared to pure protein (control sample). This increase in foaming properties is probably due to the presence of cress seed gum and its effect on the formation of a thick viscoelastic film, improved protein adsorption at the interface, and increased bulk phase viscosity.

Keywords: Complex Conservation, Cress seed gum, Foaming, Optimization, Whey protein

مقاله پژوهشی

تولید دونات فاقد شکر با جایگزینی توسط شیرین کننده های رژیمی استویا، اریتریتول و

مالتودکسترین

حسن صباغی*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶

چکیده

دونات به واسطه ویژگی های ارگانولپتیک مناسب از پرمصرف ترین محصولات غذایی در سراسر جهان محسوب می شود. امروزه با گسترش دیابت و تغییر سبک زندگی، مصرف کنندگان توجه زیادی به استفاده از مواد غذایی فاقد شکر و محصولات رژیمی نشان می دهند. بنابراین، در این پژوهش امکان سنجی تولید دونات فاقد شکر به عنوان یک محصول رژیمی با استفاده از جایگزین کننده های استویا، اریتریتول و مالتودکسترین مطالعه شد. برای این منظور، ابتدا مخلوط شیرین کننده فاقد کالری (استویا، اریتریتول و مالتودکسترین) طراحی شد. این مخلوط به جای شکر با نسبت صفر (شاهد)، ۵۰ (کم شکر) و ۱۰۰ درصد (فاقد شکر) در فرمولاسیون دونات و آیسینگ افزوده شد. بررسی خصوصیات کیفی شامل محتوی رطوبت، جذب روغن، دانسیته، رنگ و نسبت تخلخل و ارزیابی حسی برای دونات ها انجام گرفت. همچنین، خصوصیات کیفی ماندگاری دونات شامل ارزیابی نرمی بافت، عدم جذب آیسینگ و عدم رشد کپک طی ۱۴ روز بررسی گردید. تجزیه و تحلیل های آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد ($p < 0.05$). نتایج نشان داد که، جایگزینی ۱۰۰ درصد شکر در دونات از نظر حفظ خصوصیات کیفی موفقیت آمیز بود. خواص کیفی دونات با ۵۰ درصد جایگزینی (محصول کم شکر) مطلوب نبود. دونات فاقد شکر خواص کیفی (دانسیته، تخلخل، رنگ و ماندگاری) مناسبی در مقایسه با شاهد داشت. جذب روغن دونات فاقد شکر با نمونه شاهد اختلاف معنی دار نداشت و ارزیابی حسی آن نیز بسیار مطلوب بود. بنابراین از مخلوط شیرین کننده های فاقد کالری و کم کالری در این پژوهش می توان در تهیه دونات فاقد شکر بهره گرفت.

واژه های کلیدی: دونات، رژیمی، استویا، اریتریتول، مالتودکسترین.

مقدمه

فاکتورهای جذب آب، دما و زمان در ایجاد یک توده خمیری مناسب اهمیت فراوانی دارند (Correa et al., 2018). دونات ها در بسیاری از کشورها مورد توجه مصرف کنندگان هستند و اگرچه آرد و روش تولید آن در کشورهای مختلف تفاوت هایی دارد اما به طور کلی با پوسته بیرونی ترد به رنگ قهوه ای-طلایی^۳ و هسته کیک مانند شناخته می شوند (Nsabimana et al., 2018). دونات ها در دو نوع عمده وجود دارند: خمیرمایه^۴ مخمری و خمیرمایه شیمیایی. دونات هایی با خمیرمایه شیمیایی به نام دونات کیک^۵ نیز شناخته می شوند. دونات های خمیرمایه مخمری روغن بیشتری در مقایسه با دونات های خمیرمایه شیمیایی جذب می کنند، که علت آن سرخ شدن در مدت زمان طولانی تر می باشد. اگرچه لازم به ذکر است که روغن افزودنی نیز در خمیره دونات های شیمیایی وجود دارد (Shih et al., 2001).

دونات^۲ یک ماده غذایی آردی رایج در منطقه آمریکای لاتین به خصوص در کلمبیا است. محصولات آردی به واسطه ویژگی های ارگانولپتیک مناسب از پرمصرف ترین محصولات غذایی در سراسر جهان محسوب می شوند. فرآورده دونات مخلوطی بر پایه نشاسته ذرت، نشاسته کاساوا، پنیر، آب یا شیر است و علاوه بر این می تواند شامل آرد، مخمر، تخم مرغ، نمک و شکر نیز باشد که تشکیل یک توده پایدار و همگن را می دهد و به صورت حلقه هایی با غوطه ور شدن در روغن سرخ می شوند. پس از سرخ کردن؛ قطعاتی با رنگ طلایی با پوسته ترد و هسته اسفنجی نرم به وجود می آید که اغلب به صورت سریع بایستی مصرف شوند؛ زیرا فرایندهای مربوط به کهنگی بلافاصله پس از سرخ کردن شروع می شوند و منجر به بروز سختی و سفتی در دمای اتاق خواهند شد. فرایندهای مربوط به مخلوط کردن خمیر شامل

2 Doughnut
3 Golden-brown
4 Leavened
5 Cake doughnut

۱- دانش آموخته دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

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

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.87575

امروزه تغییر شکل زندگی جوامع و با توجه به اهمیت مصرف فرآورده‌های رژیمی و کم کالری و علاقه‌مندی به تغذیه مناسب باعث شده است تا مصرف‌کنندگان مواد غذایی تمایل کمتری نسبت به چربی، قند و کالری نشان دهند. بنابراین تقاضای مصرف غذاهای کم کربوهیدرات^۱ رو به افزایش است (Parsons et al., 2013). بنابراین صنعت غذا به‌عنوان یکی از مهمترین صنایع در ارتباط با جامعه، موظف به تولید مواد غذایی با کمترین احتمال ایجاد خطر در مصرف‌کننده می‌باشد و بایستی روز به روز در زمینه ترکیبات مختلف و افزودنی‌های کاربردی در مواد غذایی آگاهی لازم را کسب کند. از طرفی، صنعت غذا برای بازطراحی^۲ مواد غذایی سنتی با هدف دستیابی به ارزش غذایی بهینه با چالش رو به رو است. زیرا کاهش میزان شکر و چربی در سیستم‌های کیکی خواص حسی و ساختاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Rodríguez-García et al., 2014). اگرچه مصرف‌کنندگان تمایل به مواد غذایی سالم دارند اما بایستی توجه داشت که ارزیابی حسی آن‌ها از ماده غذایی از عوامل مهم در تجاری‌سازی محصولات است (Dueik et al., 2014).

شیرین‌کننده‌هایی که می‌توانند در محصولات نانوایی به کار روند را بر اساس منشاء (شیرین‌کننده طبیعی و مصنوعی) و براساس محتوی انرژی آن‌ها می‌توان طبقه‌بندی کرد. طبقه‌بندی براساس انرژی شامل دو گروه می‌شود: عوامل به شدت شیرین‌کننده فاقد انرژی^۳ و شیرین‌کننده‌های کاهش‌دهنده انرژی بر مبنای کربوهیدرات‌ها^۴ مانند مونو یا دی‌ساکاریدها و پلی‌ال‌ها مانند شیرین‌کننده‌های حجمی^۵ (Struck et al., 2014). در محصولات نانوایی، شیرین‌کننده‌ها نقش مهمی در تامین رطوبت، شیرین‌کنندگی، ایجاد بافت و افزایش عمرماندگاری محصول دارند (Mariotti and Alamprese, 2012). براساس استاندارد محصولات فاقد شکر با پلی‌ال‌ها می‌تواند با این ادعا برچسب‌گذاری شوند که "موجب تخریب دندان نمی‌شوند"^۶ یا "فاقد شکر" یا "انرژی کاهش یافته" هستند. در اتحادیه اروپا سطح انرژی حداقل باید ۳۰ درصد پایین‌تر از محصولات معمول باشد (Anonymous, 2006). عامل جایگزین بایستی شیرینی مشابه شکر را فراهم نماید. همچنین بایستی بی رنگ، بدون بو و غیربیماری‌زا باشد و پروفایل طعمی آن مشابه با ساکارز به‌عنوان مرجع باشد. اگر چنین شیرین‌کننده‌ای به‌صورت فرآیندی تا حد زیادی شباهت به ساکارز داشته باشد، احتمال موفقیت امکان‌سنجی آن برای کاربردهای صنعتی بیشتر خواهد بود (Nabors, 2012). شیرین‌کننده‌هایی که قصد جایگزینی

آن‌ها در برابر ساکارز وجود دارد بایستی محلول در آب باشند، عطر و طعم کافی داشته باشند و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند. همچنین این ترکیبات بایستی از قوانین ملی و بین‌المللی تبعیت کنند (Gomez, 2008). استفاده از شیرین‌کننده‌های جایگزین موجب کاهش میزان کالری مواد غذایی می‌شود و می‌تواند در تامین نیازهای افراد دیابتی مفید باشد (Kaur, 2018). استفاده از الکل قندها و جایگزین‌های شکر مانند استویا در محصولات نانوایی در بیشتر کشورها مجاز است (Nelson, 2000).

استویا^۷ که از استویول^۸ و گلیکوزیدها تشکیل شده است در برابر حرارت و pH مقاوم است و قابل تخمیر نیست. بنابراین مقدار آن به نحوی بایستی انتخاب شود که اثری روی پخت نداشته باشد. در مقابل شیرین‌کننده حاوی دکستروز و مالتودکستترین نیز مقاوم به حرارت است و می‌تواند پخت روی آن موثر باشد و خواص کیفی تخمیر را حفظ نماید (Kaur, 2018). شیرین‌کننده استویوزید^۹ یا استویا، که ترکیبی با منشأ طبیعی است، در بسیاری از کشورها مورد استقبال خوبی قرار گرفته است. استویا گیاهی چند ساله و بومی نواحی شمالی آمریکای جنوبی (پاراگوئه) است. استویوزید ماده موثره موجود در برگ استویا جزء خانواده دی‌ترپن^{۱۰} است که شیرینی معادل ۱۰۰ تا ۳۰۰ برابر شکر دارد و میزان کالری آن صفر است. استویوزید به‌عنوان فراوان‌ترین ترکیب شیرین‌کننده ۵ تا ۱۰ درصد وزن برگ خشک را شامل می‌شود. استویا در برخی از کشورها، مانند ژاپن، برای چندین دهه به‌عنوان یک شیرین‌کننده استفاده می‌شود. جایگزینی شیرین‌کننده استویا به جای شکر در فرمولاسیون، علاوه بر اینکه موجب ایجاد طعم شیرین و خوشایندی در این محصول می‌گردد، از طریق کاهش اندیس پراکسید چربی نیز موجب بهبود کیفیت و افزایش عمر ماندگاری محصول می‌شود و تولید فرآورده رژیمی را به همراه خواهد داشت. تحقیقات دندانپزشکی نشان می‌دهد که مصرف محصولات حاوی استویا رشد میکروارگانیسم‌های دهانی را متوقف می‌نماید (Grenby, 1991; Gasmalla et al., 2014; Shahidi Noghabi et al., 2016). استویا به دلیل پایداری مناسب در دماهای بالا، یک افزودنی کاربردی در صنایع پخت با ایجاد احساس دهانی مطلوب می‌باشد (Savita et al., 2004).

به‌منظور کاربرد استویا در محصولات به‌عنوان جایگزین شکر جهت حفظ نسبت‌های فرمولاسیون بایستی از پرکننده‌هایی از جمله شیرین‌کننده‌های کم کالری مانند اریتریتول^{۱۱} و مالتودکستترین بهره

7 Stevia

۸ Steviol

۹ Stevioside

۱۰ Diterpene

۱۱ Erythritol

1 Low-carb foods

2 Redesign

3 Energy-free highintensity sweetening agents

4 Carbohydrate-based reduced energy sweeteners

5 Bulk sweeteners

6 Does not promote tooth decay

می رود (Sajilata and Singhal, 2005). ژل حاوی مالتودکسترین می تواند به عنوان جایگزین چربی خواص حسی مشابهی را ایجاد نماید (Mielea et al., 2015).

در زمینه کاربرد استویا در دونات تحقیقاتی انجام نشده است و تنها در پژوهشی در داخل ایران استفاده از استویا در دونات مطالعه شده است. Shahidi Noghabi و همکاران (۲۰۱۶) اثر شیر خشک و شیرین کننده استویا را روی میزان آکريل آمید و خصوصیات شیمیایی فرآورده دونات بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزودن شیر خشک به فرمولاسیون دونات، درصد رطوبت، درصد پروتئین، قند کل، قند احیاء و آکريل آمید افزایش و درصد قند غیراحیا و تیرگی در محصول کاهش یافت. همچنین نوع شیرین کننده از عوامل بسیار مهم در تشکیل آکريل آمید می باشد و با جایگزین کردن شکر با استویا، مقدار آکريل آمید در محصول نهایی کاهش یافت. در رابطه با جایگزینی شکر در سایر محصولات نانوائی مانند کوکی، کیک و بیسکویت پژوهش های بیشتری انجام شده است (Zoulias et al., 2000; Zoulias et al., 2002; Ronda et al., 2005; Savitha et al., 2008; Rodríguez-García et al., 2014; Chatchavanthatri et al., 2019). نتایج این تحقیقات نشان داده است که امکان سنجی جایگزینی شیرین کننده های فاقد کالری در محصولات نانوائی موفقیت آمیز خواهد بود. خصوصیات تکنولوژی مخلوط های شیرین کننده توانست تا حد زیادی به عملکردهای ساکارز شبیه باشد.

بنابراین در این پژوهش در مرحله اول مخلوط شیرین کننده فاقد کالری معادل با شکر طراحی شد و در مرحله دوم تولید دونات رژیمی بر پایه شیرین کننده های رژیمی استویا، اریتریتول و مالتودکسترین برای اولین بار در مقیاس صنعتی انجام گرفت. در نهایت با بررسی تاثیر میزان سطح جایگزینی شکر با مخلوط شیرین کننده بر روی خصوصیات کیفی شامل دانسیته و حجم، نسبت تخلخل، رنگ، ماندگاری و ارزیابی حسی، تولید دونات فاقد شکر با اهداف رژیمی امکان سنجی شد.

مواد و روش ها

تهیه خمیر دونات

فرمولاسیون صنعتی تهیه خمیر دونات براساس جدول ۱ در نظر گرفته شد. تعداد دونات مورد نیاز ۲۰ عدد بود و بر همین اساس نسبت ها برای تهیه ۲۰۰۰ گرم خمیر محاسبه گردید. در پیش آزمون مشخص

گرفت. اریتریتول جزء پلی آل ها^۱ است که از گلوکز به کمک فرآیند تخمیر به دست می آید و به عنوان شیرین کننده های حجمی شناخته می شوند. پلی آل ها مقدار انرژی کمتری را در مقایسه با ساکارز در حجم یکسان فراهم می کنند و موجب ایجاد ساختار، مزه و جرم در خمیر می گردند (Ghosh and Sudha, 2012; Lin et al., 2010). اریتریتول یک قند الکل چهار کربنی با شیرینی متغیر ۰/۶ تا ۰/۸ نسبت به ساکارز است و به همین دلیل از آن با اختلاط با استویا به منظور ایجاد شیرینی مشابه با ساکارز در تولید فرآورده ها استفاده می گردد. اریتریتول برای دستیابی به غذاهای عملگرا^۲ بسیار مناسب است، زیرا تحمل هضم بالایی^۳ دارد و غیر کالری^۴، غیر بیماری زا^۵ و غیر گلیسمیک^۶ (مفید برای افراد دیابتی، ایجاد احساس سیری طولانی تر، تاثیر مناسب بر سیستم ایمنی بدن) است و همچنین خواص آنتی اکسیدانی و سلامت بخشی دارد (Storey et al., 2007). عدم وجود گروه های آلدو^۷ و کتو^۸ در پلی آل ها موجب می شود که این ترکیبات در واکنش قهوه ای شدن مایلارد^۹ در حضور آمینواسیدها شرکت نکنند. پلی آل ها در مقایسه با ساکارز مزیت های فراوانی دارند، زیرا توسط میکروارگانیزم های دهانی به سختی متابولیزه می شوند یا اصلاً متابولیزه نمی شوند (Ghosh and Sudha, 2012). علاوه بر این اریتریتول دارای خواص آنتی اکسیدانی نیز می باشد. به طور کلی اریتریتول برای محصولات نانوائی بسیار مناسب است اما با این وجود برخی مشکلات برای کاربرد آن به تهایی توسط پژوهشگران ذکر شده است. به عنوان مثال هنگامی که اریتریتول با چربی ها مانند کره ترکیب می گردد، اثر سرمایش^{۱۰} می تواند بافت مومی^{۱۱} را به وجود آورد. یکی دیگر از مشکلات احتمالی اریتریتول این است که آب جذب نمی کند و این امر باعث می شود تا محصولات نانوائی پخته شده با الکل قند زودتر خشک شوند. همچنین اریتریتول تمایل به تبلور دارد (Lin et al., 2010).

پژوهشگران کاربرد مالتودکسترین در کاهش شیرینی، بدون کاسته شدن از محتوی مواد جامد کل، را در تولید محصولات غذایی مناسب دانستند (Kennedy et al., 1995). مالتودکسترین با DE برابر با ۱۰ با نام تجاری اینامالت ۱۱۰^{۱۲} شناخته می شود که پودر سفید رنگی است که با هیدرولیز آنزیمی از سوسپانسیون نشاسته ژلاتینه شده به دست می آید و به عنوان پرکننده^{۱۳}، حامل و عامل حجم دهنده^{۱۴} در محصولات شیرینی سازی، دسر ها، محصولات نانوائی و محصولات گوشتی به کار

۹ Maillard

۱۰ Cooling effect

۱۱ Waxy

12 Inamalt 110

۱۳ Filler

۱۴ Bulking agent

۱ Polyol

2 Functional food

3 Digestive tolerance

4 Non-caloric

5 Non-cariogenic

6 Non-glycaemic

7 Aldo

8 Keto

شد که میزان آب در فرمولاسیون شاهد (فاقد صمغ) بایستی ۱۲/۵ گرم بیشتر از حد تئوری مقیاس صنعتی یعنی برابر با ۴۵۸/۸۵۹ گرم باشد تا خمیر مناسبی را در مقیاس آزمایشگاهی بدست دهد.

آماده سازی مخلوط شیرین کننده رژیمی

برای این منظور، از مخلوط سه شیرین کننده استویا، اریتریتول و مالتودکسترین استفاده شد. مطابق با Daniels (۲۰۱۷) میزان شیرین کننده مورد استفاده برای ایجاد بهینه شیرینی معادل شکر با انجام پیش آزمون حسی مشخص گردید. به صورت تئوری مطابق با Savita و همکاران (۲۰۰۴) شیرینی یک گرم استویا در ۱۰۰ میلی لیتر آب معادل

با محلول حاصل از ۲۰ گرم ساکارز است. از آزمون عملی مشخص شد که اگر شیرینی ساکارز ۱۰۰ باشد شیرینی ترکیبات استویا، اریتریتول و مالتودکسترین (DE=10) به ترتیب ۳۰۰، ۷۰ و ۱۱ خواهد بود. بر این اساس میزان بهینه هر یک از شیرین کننده ها جهت دستیابی به مخلوط محاسبه شد به گونه ای که بتوان آن را به نسبت یک به یک شکر جایگزین نمود. بدین منظور ابتدا "مخلوط شیرین کننده" با شیرینی چهار برابر ساکارز طراحی شد تا با استفاده از پرکننده مالتودکسترین با دقت بیشتری نسبت شیرینی برابر با ساکارز حاصل شود. مشخص شد اگر ۴۶/۱۷۵ گرم استویا و ۱۹۷/۸۹۲ گرم اریتریتول با هم مخلوط و هموژن شود، مخلوطی با شیرینی چهار برابر ساکارز به دست می آید.

جدول ۱- فرمولاسیون معمول دونات

ردیف	ترکیب	مقدار مصرف (گرم)
۱	تخم مرغ کامل هم زده	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 گلایکول	۱۶/۱۲۱
۸	بهبوددهنده و ژل دونات	۲۶/۹۶۸
۹	آب آشامیدنی	۴۴۶/۳۵۹+۱۲/۵
۱۰	روغن جامد	۶۰/۸۷۹
	مجموع (گرم)	۲۰۰۰+۱۲/۵

جایگزینی شکر در فرمولاسیون دونات

مطابق جدول ۲ با توجه به اینکه میزان شکر (S) مورد نیاز در ۲۰۰۰ گرم خمیر برابر با ۱۳۸/۵۲۵ گرم بود بایستی ۵۰ و ۱۰۰ درصد این میزان شکر در محصول با مخلوط شیرین کننده (B) جایگزین گردد (با سه نسبت [S:B] برابر با [۱۰۰:۰]، [۵۰:۵۰] و [۰:۱۰۰]). بدین منظور به میزان یک-چهارم جرم حذفی شکر از "مخلوط شیرین کننده"

استفاده شد و مابقی با پرکننده (F) مالتودکسترین جبران گردید. در محاسبات برای در نظرگیری میزان شیرینی حاصل از جرم مالتودکسترین و دقت بیشتر؛ متناسب این شیرینی برحسب جرم ساکارز به دست آمد و سپس مجدداً یک-چهارم این جرم ساکارز نیز از جرم "مخلوط شیرین کننده" کاسته شد و همان جرم (x) پرکننده (جبران) مجدد جرم با پرکننده با شیرینی کم) به فرمولاسیون اضافه گردید.

جدول ۲- درجه جایگزینی شکر (S) با مخلوط شیرین کننده (B) و میزان پرکننده (F) در ۲۰۰۰ گرم خمیر

تیمار	F+x	B-x	S
S:B	مالتودکسترین (گرم)	اریتریتول+استویا (گرم)	شکر (گرم)
۱۰۰:۰	۰	۰	۱۳۸/۵۲۵
۵۰:۵۰	۵۱/۹۴۶+۱/۴۲۸	۱۷/۳۱۵-۱/۴۲۸	۶۹/۲۶۲
۰:۱۰۰	۱۰۳/۸۹۳+۲/۸۵۷	۳۴/۶۳۱-۲/۸۵۷	۰

تهیه آیسینگ

در دونات رژیمی یک آیسینگ بهینه حاصل از "مخلوط شیرین کننده" به جای شکر تولید شد. فرمولاسیون آیسینگ معمول

به صورت جدول ۳ برای ۱۶۰ گرم آیسینگ بود. مقدار آیسینگ مصرفی برای هر دونات حدود ۸ گرم در نظر گرفته شد. در نهایت مجموع وزن آیسینگ و دونات در بسته بندی حدود ۵۵ گرم بود. همانند دونات نسبت

جایگزینی "مخلوط شیرین کننده" به جای شکر در آیسینگ نیز صفر، در جدول ۴ نشان داده شده است. برای تهیه آیسینگ رژیمی از آب و ۵۰ و ۱۰۰ درصد بود. وزن هر یک از اجزای جایگزین شده برای شکر (W) به جای شربت آیسینگ با بریکس ۷۰ استفاده شد.

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	۳/۱۰۸
	مجموع (گرم)	۱۶۰

جدول ۴- درجه جایگزینی شکر (S) با مخلوط شیرین کننده (B) و میزان پرکننده (F) و آب (W) در ۱۶۰ گرم آیسینگ

تیما	W	F+x	B-x	S
S:B	آب (گرم)	مالتودکسترین (گرم)	اریتریتول+استویا (گرم)	شکر (گرم)
۱۰۰:۰	-	۰	۰	۱۰۸/۵۶۴
۵۰:۵۰	۱۲	۴۰/۷۱۲+۱/۱۱۹	۱۳/۵۷۰-۱/۱۱۹	۵۴/۲۸۲
۰:۱۰۰	۱۴	۸۱/۴۲۳+۲/۲۳۹	۲۷/۱۴۱-۲/۲۳۹	۰

تهیه خمیر دونات

شکل ۱ تجهیزات تهیه خمیر دونات را نشان می دهد. برای مخلوط کردن نهایی و تولید خمیر از یک همزن نیمه صنعتی (Xuzhong MACS Advertises Dough Mixer-Model Number: szm20 مطابق (شکل ۱- الف) و پروب مارپیچی مطابق (شکل ۱- ب) استفاده شد.

کفایت این مرحله با توجه به شکل کشسانی خمیر در نظر گرفته می شود که بایستی کشش پذیری مناسبی تا ایجاد یک لایه نازک خمیر را داشته باشد. بدین منظور مقدار آب اضافی در خمیر حاوی شیرین کننده رژیمی (مازاد بر ۴۵۸/۸۵۹ گرم) و مدت زمان هم زدن اهمیت دارد که به صورت پیش آزمون برای فرمولاسیون ها محاسبه شد و در جدول (۵) 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 برآورد شد.



شکل ۱- تجهیزات تهیه خمیر دونات (الف) همزن نیمه صنعتی (ب) پروب همزن

ورز دادن و قالب گیری خمیر

طی 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 ۱۰-۹ میلی متر روی آن در آمد. ضخامت خمیر در نقاط تصادفی با کولیس دیجیتال اندازه گیری شد. سپس قالب گیری خمیر دونات با استفاده از قالبی شش ضلعی انجام

گرفت. وزن هر دونات قالب گیری شده بایستی حدود ۴۷ گرم باشد. مدت زمان لازم برای ورز دادن و قالب گیری ۱۵-۱۰ دقیقه بود. تعداد ۲۰

چانه خمیر دونات برای هر فرمولاسیون (۳ فرمولاسیون) قالب گیری و توزین شد و وزن دقیق هر چانه خمیر ثبت گردید.

جدول ۵- مقدار آب مازاد و زمان هم زدن برای فرمولاسیون های مورد آزمون

تیمار	درصد جایگزینی شکر	مقدار آب مازاد (گرم)	زمان هم زدن (دقیقه)
شاهد	۰	صفر	۱۰
کم شکر	۵۰	۱۸/۷	۱۰
فاقد شکر	۱۰۰	۲۰/۲۴	۱۰

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^۲) همگی بر حسب گرم می باشند. تخمین محتوی رطوبت در خمیر نیر با روش یکسانی انجام گرفت (در خمیر $W_{oil}=0$).

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_0 - W_{oil}} \quad (2)$$

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.

$$ML (g/g) = \frac{(W_{dough} \times M_{dough}) - (W_{doughnut} \times M_{doughnut})}{W_{dough}} \quad (3)$$

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 AOAC (۱۹۹۵) تخمین زده شد. جرم نسبی روغن بر حسب 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 بر حسب ماده خشک $(g/g, db)$ محاسبه شد. میانگین محتوی چربی موجود در خمیر اولیه نیز محاسبه گردید و از این مقدار کسر 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 توزین همه نمونه ها انجام گرفت و وزن دقیق بعد از فرآوری نیز ثبت گردید.

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 بعد از رسیدن به دمای محیط وارد مرحله قرار دادن (دیپازیت)^۱ آیسینگ شد. وزن آیسینگ روی دونات حدود ۸ گرم بود. سپس بسته بندی با پلی پروپیلن انجام گرفت.

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 Akdeniz (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.

$$Ra = \left(\frac{CW}{C} \right) \times 100 \quad (1)$$

محتوی و اتلاف رطوبت

اندازه گیری محتوی رطوبت دونات ها مطابق با دستورالعمل AOAC (۱۹۹۵) با قرار دادن وزن معینی از دونات سرخ شده در آون

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 ۲ ابتدا تصویر اصلی (شکل ۲-الف) به تصویر ۸ بیتی (شکل ۲-ب) تبدیل شد و سپس تصویر دودویی (شکل ۲-ج) ایجاد گردید. در نهایت، 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 Sabbaghi 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 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 ۴-۹ 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 ۴-۱۰ محاسبه نمود.

$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L_t)^2 + (a_i - a_t)^2 + (b_i - b_t)^2} \quad (9)$$

$$C_r = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (10)$$

رابطه ۱۱ حساب شد. در این رابطه، متغیر x از رابطه ۱۲ به دست می آید.

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (11)$$

$$x = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)} \quad (12)$$

$$O = \frac{W_1 - W_2}{m} \quad (4)$$

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.

$$U_R = \frac{OU}{ML} \quad (6)$$

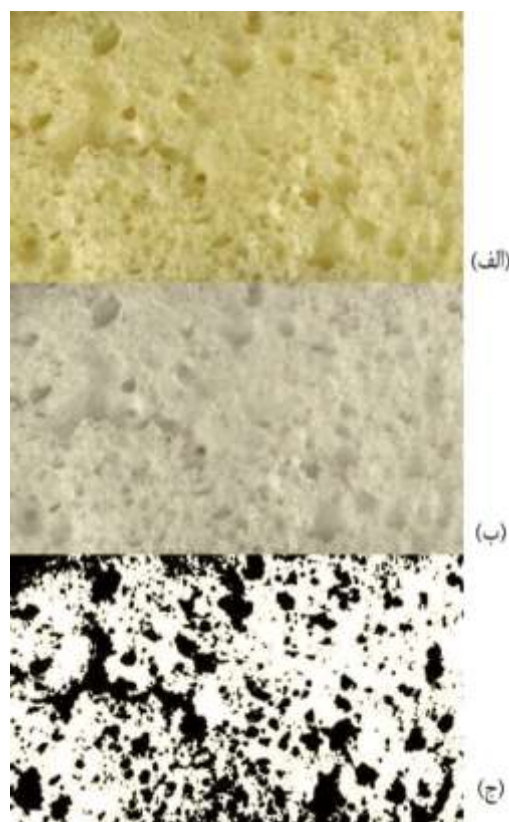
دانسیته محصول

محاسبه دانسیته با استفاده از روش وزن هکتولتر دانه های ارزن و روش جابه جایی مطابق با Vélez-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.

$$d = \frac{m}{V} \quad (7)$$

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، ایالات متحده آمریکا) مطابق با روش Romani و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. نمونه های



شکل ۲- پردازش تصاویر برای محاسبه شاخص تخلخل (الف) تصویر اولیه (ب) تصویر ۸ بیتی (ج) تصویر دودویی

جدول ۶- اطلاعات آموزش نحوه قضاوت حسی درباره دونات برای ارزیاب‌ها

ویژگی‌های عمومی مطلوب	خاصیت حسی
رنگ یکنواخت، فاقد لکه‌های قهوه‌ای	رنگ و ظاهر
محصولی با عطر طبیعی، فاقد بوی نامناسب روغن	بو
طعم شیرینی مناسب، فاقد تلخی	طعم
احساس دهانی مطلوب از نظر بافت، عدم سختی بافت، عدم وجود حباب سطحی	بافت
مطلوبیت نهایی محصول از مجموع خواص حسی ارزیابی شده با توجه به اهمیت و عدم جذب آپسینگ	پذیرش کلی

ارزیابی حسی

ارزیابی خصوصیات حسی شامل وضعیت ظاهری، طعم، بو، نرمی بافت و پذیرش کلی براساس روش معمول صنعتی توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش‌دیده و مطابق با Farkas و Melito (۲۰۱۳) صورت پذیرفت. این کار حداکثر تا سه روز انجام گرفت. جدول ۶ توصیف هریک از پارامترهای حسی را برای ارزیاب‌ها نشان می‌دهد. ارزیابی با انتخاب یک عدد از یک تا ده 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) انجام شد.

ماندگاری محصول

آزمون مرتبط با دوره نگهداری دونات در صنعت شامل بررسی نرمی بافت، عدم جذب آپسینگ 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 مشابه ارزیابی حسی صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری برای بررسی تاثیر جایگزینی شکر روی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده به صورت طرح کاملاً تصادفی با در نظرگیری سه تیمار فرمولاسیون به صورت شاهد، کم شکر و فاقد شکر انجام گرفت. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار 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

شاخص رطوبت دونات

جدول ۷ تجزیه واریانس را برای داده های محتوی رطوبت و اتلاف رطوبت در اثر جایگزینی شکر در تیمارهای مورد آزمون "شاهد (حاوی ۱۰۰ درصد شکر)، حذف ۵۰ درصدی شکر و حذف ۱۰۰ درصدی شکر" را نشان می دهد. همانطور که مشخص است، اختلاف میان نمونه های مورد آزمون از نظر شاخص های رطوبتی معنی دار بوده است. جدول ۸ مقایسه میانگین شاخص های رطوبتی را تحت تاثیر نسبت های مختلف جایگزینی شکر طی آزمون نشان می دهد. همانطور که مشخص است، محتوی رطوبت نمونه فاقد شکر به طور معنی داری بیشتر از نمونه شاهد است و اتلاف رطوبت در نمونه حاوی ۵۰ درصد جایگزینی از تیمارهای دیگر به طور معنی دار بیشتر بود. نمونه شاهد و نمونه فاقد شکر از نظر اتلاف رطوبت اختلاف معنی دار نشان ندادند.

در همین راستا، Akesowan (۲۰۰۹) بیان کرد که با افزایش میزان اریتریتول در حد ۱۰۰ درصد جایگزینی در کیک، بافت مرطوب تر و نرم شد. Sudha و Ghosh (۲۰۱۲) بیان کردند که در محصولات پخت، شیرین کننده تامین کننده شیرینی، بافت و جاذب رطوبت^۱ است و در نتیجه ماندگاری را تحت تاثیر قرار می دهد و موجب افزایش آن

می گردد. شیرین کننده همچنین روی طعم، ابعاد، رنگ، سختی و سطح محصول پختنی موثر است. Struck و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که برای کاربردهای محصولات نانوائی، پایداری عامل جایگزین کننده در شرایط فرآوری (مانند دمای بالا) نقش بسیار مهمی ایفا می کند. عامل جایگزینی همچنین باید سایر عملکردهای ساکارز در محصولات نانوائی مانند قهوه ای شدن، کریستالیزاسیون، کنترل دمای سفت شدن حرارتی نشاسته و پروتئین، ویسکوزیته و تشکیل ساختار و کنترل رطوبت را نیز داشته باشد. Zoulias و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که محصول فاقد شکر حاوی پلی آل ها محتوی رطوبت بالاتری نسبت به نمونه شاهد داشت؛ اما این میزان کمتر از حد بیشینه ای بود که روی ماندگاری آن موثر باشد. آن ها گزارش کردند که کاربرد پلی آل ها می تواند موجب نرمی بافت شود. Shih و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که اگر افزودنی مورد استفاده ظرفیت نگهداری آب قابل توجهی داشته باشد اثر قابل توجهی در کاهش جذب روغن خواهد داشت. همان طور که گفته شد، در این پژوهش اتلاف رطوبت نمونه فاقد شکر اختلافی با شاهد نداشت. Rodríguez-García و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که اتلاف وزن طی فرآیند تحت تاثیر ظرفیت نگهداری آب است و افزایش ظرفیت نگهداری آب در فرمولاسیون موجب کاهش اتلاف وزنی خواهد شد. همچنین، Chatchavanthatri و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که تغییر نوع شیرین کننده از ساکارز به قند الکلی می تواند موجب افزایش سطح رطوبت محصول گردد.

جدول ۷- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی رطوبت دونات

شاخص رطوبت	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
محتوی رطوبت					
تیمار	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۱۴/۴۴۸	۰/۰۰۵
خطا	۰/۰۰۰	۶	۰/۰۰۰		
کل	۰/۰۰۰	۸			
اتلاف رطوبت					
تیمار	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۷/۸۲۲	۰/۰۲۱
خطا	۰/۰۰۰	۶	۰/۰۰۰		
کل	۰/۰۰۱	۸			

جدول ۸- مقایسه میانگین رطوبت دونات تحت تاثیر نسبت های مختلف جایگزینی شکر

تیمار (نسبت جایگزینی شکر بر حسب درصد)			
صفر (شاهد)	۵۰	۱۰۰	
۰/۱۷۲±۰/۰۰۳ ^b	۰/۱۶۵±۰/۰۰۳ ^c	۰/۱۷۸±۰/۰۰۱ ^a	محتوی رطوبت
۰/۱۱۶±۰/۰۰۶ ^b	۰/۱۳۰±۰/۰۰۶ ^a	۰/۱۱۵±۰/۰۰۳ ^b	اتلاف رطوبت

- حروف لاتین کوچک نشان دهنده مقایسه بین تیمارها است.

شاخص جذب روغن دونات

جدول ۹ تجزیه واریانس را برای داده‌های جذب روغن تحت تاثیر حذف شکر از دونات نشان می‌دهد. تیمارهای مختلف آزمون با حذف شکر از نظر شاخص‌های جذب روغن شامل محتوی روغن، جذب روغن، اختلاف وزنی، نسبت وزنی، بازدارندگی جذب و عکس راندمان سرخ کردن اختلاف معنی‌دار نداشتند. جدول ۱۰ مقایسه میانگین داده‌های مختلف شاخص‌های جذب روغن را میان تیمارهای مختلف حذف شکر نشان می‌دهد. اگرچه نمونه‌های مختلف از نظر شاخص‌های جذب روغن اختلاف معنی‌دار نداشتند اما نمونه فاقد شکر به دلیل داشتن حجم بیشتر احتمالاً اندکی جذب روغن بالاتری نشان داده است که از این نظر با نمونه شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد. شاخص نسبت وزنی قبل و بعد از سرخ کردن؛ مشابه بودن جذب روغن تیمارهای مورد آزمون را به‌خوبی نمایان می‌سازد.

مطابق با Dana و Saguy (۲۰۰۶) و همچنین Ziaifar و Sabbaghi (۲۰۱۸) محدوده جذب روغن برای محصولات جایگزین‌شده با شیرین‌کننده رژیمی در حد معمول ۲۰ تا ۳۰ درصد است.

شاخص دانسیته و تخلخل

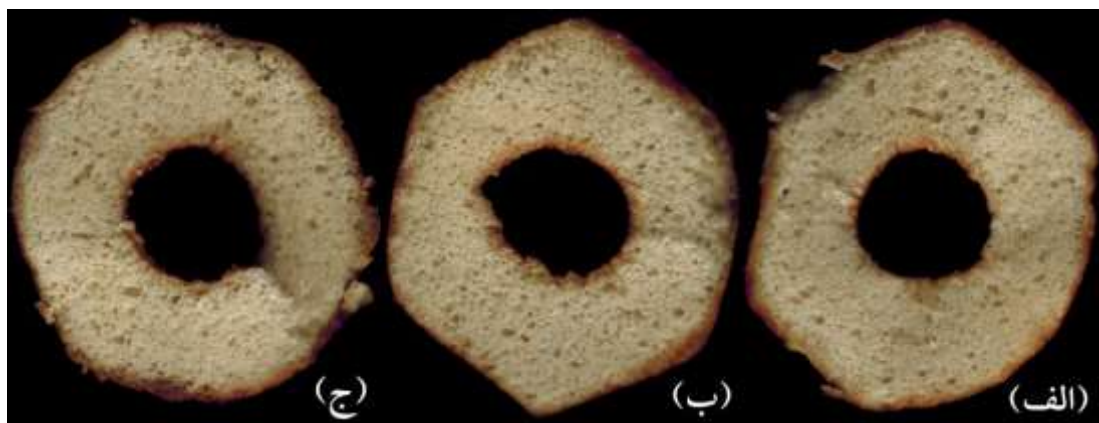
جدول ۱۱ تجزیه واریانس را برای مقایسه تاثیر حذف شکر روی شاخص‌های فیزیکی دانسیته و تخلخل نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است اختلاف میان تیمارهای آزمون از این نظر معنی‌دار است. شکل ۳ برش سطح مقطع دونات‌های مورد آزمون شامل دونات شاهد (شکل ۳-الف) دونات با ۵۰ درصد جایگزینی شکر (شکل ۳-ب) و دونات فاقد شکر (شکل ۳-ج) را مشخص می‌نماید. جدول ۱۲ مقایسه

میانگین شاخص‌های فیزیکی دانسیته و تخلخل را برای تیمارهای مختلف جایگزینی شکر نشان می‌دهد. دانسیته نمونه دونات با حذف ۱۰۰ درصدی شکر به‌طور معنی‌داری کمتر از دو تیمار دیگر بود که نشان‌دهنده حجم بالاتر محصول فاقد شکر است. به همین ترتیب این نمونه به‌طور معنی‌دار شاخص تخلخل بالاتری در مقایسه با دو تیمار دیگر داشت.

نمونه فاقد شکر حجم بالاتر و دانسیته کمتر داشت. در همین راستا، Mielea و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که مالتودکسترین می‌تواند به عنوان عامل حجم‌دهنده، پایدارکننده^۱ و غلیظ‌کننده^۲ در یک فرمولاسیون پخت عمل نماید. Nip (۲۰۰۶) بیان کرد که به‌طور کلی کاهش ۱۵-۲۰ درصدی شکر در یک محصول نانوائی شیرین بدون تغییر عمده در فرمولاسیون امکان‌پذیر گزارش شده است.

کاهش شکر بین ۲۰ تا ۸۰ درصد اگرچه چالش برانگیز است اما ممکن است با مخلوط شیرین‌کننده‌های مختلف یا ترکیب شیرین‌کننده‌ها با عوامل حجم‌دهنده مانند قندهای پلیمریک، هیدروکلوئیدها یا فیبرها قابل دستیابی باشد و مخلوط حاصل بایستی تمامی عملکردهای بهینه ساکارز را فراهم نماید.

Manisha و همکاران (۲۰۱۲) و Zahn و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاهش حجم ناشی از حذف شکر ممکن است با افزودن هیدروکلوئیدها، قند الکلی‌ها و فیبرهای گیاهی جبران شود. آن‌ها بیان کردند که استفاده از گلیکوزیدهای استیبول^۳ به‌عنوان یک شیرین‌کننده قوی شیرینی قابل قبولی در مقایسه با ساکارز ایجاد می‌نماید و می‌تواند در ترکیب با هیدروکلوئیدها، عوامل حجم‌دهنده یا فیبرها منجر به تولید فرمولاسیون‌های کم شکر^۴ یا فاقد شکر^۵ با خصوصیات کیفی مطلوب در محصول نهایی گردد.



شکل ۳- برش سطح مقطع دونات‌های مورد آزمون (الف) شاهد (ب) ۵۰ درصد جایگزینی شکر (ج) ۱۰۰ درصد جایگزینی شکر

4 Sugar reduced
5 Sugar-free

1 Stabilizer
2 Thickener
3 Steviol glycosides

جدول ۹- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی شاخص جذب روغن دونات

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)		
۰/۴۳۰	۰/۹۷۶	۰/۰۰۱	۲	۰/۰۰۲	تیمار	محتوی روغن
		۰/۰۰۱	۶	۰/۰۰۷	خطا	
			۸	۰/۰۰۹	کل	
۰/۳۷۵	۱/۱۶۰	۰/۰۰۱	۲	۰/۰۰۲	تیمار	جذب روغن
		۰/۰۰۱	۶	۰/۰۰۶	خطا	
			۸	۰/۰۰۹	کل	
۰/۲۸۱	۱/۲۹۹	۰/۸۳۴	۲	۱/۶۶۸	تیمار	اختلاف وزنی
		۰/۶۴۲	۵۷	۳۶/۶۰۱	خطا	
			۵۹	۳۸/۲۶۹	کل	
۰/۶۷۹	۰/۳۹۰	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	تیمار	نسبت وزنی
		۰/۰۰۰	۵۷	۰/۰۲۰	خطا	
			۵۹	۰/۰۲۰	کل	
۰/۱۳۷	۲/۸۲۶	۰/۳۵۰	۲	۰/۷۰۱	تیمار	بازدارندگی جذب
		۰/۱۲۴	۶	۰/۷۴۴	خطا	
			۸	۱/۴۴۵	کل	
۰/۶۷۹	۰/۳۹۰	۱/۳۵۲	۲	۲/۷۰۳	تیمار	عکس راندمان
		۳/۴۶۹	۵۷	۱۹۷/۷۳۵	خطا	
			۵۹	۲۰۰/۴۳۸	کل	

جدول ۱۰- مقایسه میانگین پارامترهای جذب روغن دونات تحت تاثیر نسبت های مختلف جایگزینی شکر

تیمار (نسبت جایگزینی شکر بر حسب درصد)			
۱۰۰	۵۰	صفر (شاهد)	
۰/۳۸۶±۰/۰۳۶ ^a	۰/۳۵۱±۰/۰۲۶ ^a	۰/۳۸۰±۰/۰۳۶ ^a	محتوی روغن
۰/۳۰۹±۰/۰۳۵ ^a	۰/۲۷۹±۰/۰۲۲ ^a	۰/۳۱۸±۰/۰۳۸ ^a	جذب روغن
۴/۲۲۵±۰/۳۸۷ ^a	۳/۸۳۵±۰/۴۳۳ ^a	۳/۹۲۵±۱/۲۶۰ ^a	اختلاف وزنی
۰/۹۱۳±۰/۰۰۸ ^a	۰/۹۱۸±۰/۰۱۰ ^a	۰/۹۱۴±۰/۰۲۹ ^a	نسبت وزنی
۲/۷۰۰±۰/۳۸۵ ^a	۲/۱۳۶±۰/۰۸۸ ^a	۲/۷۵۳±۰/۴۶۴ ^a	بازدارندگی جذب
۹۱/۳۸۶±۰/۸۰۲ ^a	۹۱/۸۶۳±۱/۰۰۰ ^a	۹۱/۴۴۶±۲/۹۶۰ ^a	عکس راندمان

- حروف لاتین کوچک نشان دهنده مقایسه بین تیمارها است.

تشکیل شبکه تحت تاثیر بازآرایی ساختاری^۴ است که به شدت به غلظت و طول زنجیره بستگی دارد. بنابراین از کاربردهای مالتودکسترین می تواند عامل بهبود دهنده بافت و حجم باشد. Kennedy و همکاران (۱۹۹۵) جلوگیری از کاهش حجم طی نگهداری را از نقش های مهم مالتودکسترین معرفی نمودند.

Savitha و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که مالتودکسترین با DE کمتر از ۲۰ می تواند به همراه قندالکل ها نقش عامل حجم دهنده را داشته باشد. Chronakis (۱۹۹۸) بیان کرد که ژل مالتودکسترین یک شبکه است که از اتصال میان مولکول های آمیلوز^۱ محلول و مولکول های آمیلوپکتین^۲ با زنجیره های خطی و منشعب به دست می آید. فاز اولیه تعامل میان مولکول های منشعب و خطی، تجمع^۳ سریع و

3 Aggregation

4 Structural rearrangements

1 Amylose

2 Amylopectin

سلول‌های کوچک و توزیع یکنواخت در اطراف هسته به عنوان حفرات منفرد می‌تواند سختی کمتر هسته را موجب شود. در شرایط معمول ژلاتینه شدن نشاسته و غیرطبیعی شدن^۴ پروتئین در دامنه دمایی مشخص و یکسانی اتفاق می‌افتد و سفت شدن حرارتی می‌تواند با تاثیر روی جزء نشاسته در ماتریس ژل، موجب قدرت هسته کیک شود. بنابراین در محصول فاقد شکر تغییر در مکانیسم سفت شدن حرارتی می‌تواند موجب کاهش قدرت هسته شود و نرمی بافت آن را باعث گردد.

دونات فاقد شکر تخلخل بالاتری نشان داد. در همین راستا، Rodríguez-García و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که جایگزینی شکر روی ساختار سلولی هسته کیک تاثیر معنی داری دارد. جایگزینی شکر می‌تواند روی مکانیسم سفت شدن حرارتی^۱ تاثیر بگذارد و در گسترش و حفظ حباب‌ها نقش داشته باشد. در واقع، عدم وجود مسیرهای انتشار^۲ در هنگام تغییر نوع شیرین کننده ممکن است موجب سفت شدن حرارتی اولیه شود و در نتیجه محصول کم حجم، با سلول‌های کوچک و تقریباً بدون پیوستگی داخلی^۳ شود. توزیع اندازه منافذ باریک

جدول ۱۱- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی دانسیته و تخلخل دونات

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
۰/۰۰۵	۱۵/۰۳۹	۰/۰۰۳	۲	۰/۰۰۵	دانسیته تیمار
		۰/۰۰۰	۶	۰/۰۰۱	خطا
			۸	۰/۰۰۶	کل
۰/۰۲۷	۷/۰۳۵	۰/۰۲۳	۲	۰/۰۴۶	تخلخل تیمار
		۰/۰۰۳	۶	۰/۰۱۹	خطا
			۸	۰/۰۶۵	کل

جدول ۱۲- مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیکی دونات تحت تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی شکر

تیمار (نسبت جایگزینی شکر بر حسب درصد)			
۱۰۰	۵۰	صفر (شاهد)	
۰/۳۶۹±۰/۰۰۱ ^b	۰/۴۲۵±۰/۰۱۳ ^a	۰/۴۱۴±۰/۰۱۹ ^a	دانسیته
۰/۵۵۹±۰/۰۴۷ ^a	۰/۳۸۵±۰/۰۳۶ ^b	۰/۴۷۰±۰/۰۷۸ ^{ab}	تخلخل

- حروف لاتین کوچک نشان دهنده مقایسه بین تیمارها است.

نشان داد. از نظر پارامتر زردی رنگ میان دونات ۱۰۰ درصد جایگزینی و نمونه شاهد اختلاف معنی داری وجود نداشت و نمونه ۵۰ درصد پارامتر زردی کمتری را نشان داد که به دلیل این می‌تواند باشد که نمونه ۵۰ درصد جایگزینی شکر پارامترهای مختلف جذب روغن از نظر عددی کمتر بود هرچند اختلاف معنی داری میان جذب روغن نمونه‌ها مشاهده نشد. شدت تغییرات رنگ، کروما و اندیس قهوه‌ای شدن در نمونه‌ای با ۱۰۰ درصد جایگزینی شکر به طور معنی داری از سایر تیمارها کمتر بود دونات فاقد شکر روشنایی بیشتر و قرمزی کمتر داشت و زردی آن با نمونه شاهد اختلافی نداشت. به طور کلی حذف شکر باعث کاهش شدت تغییرات رنگ، کروما و اندیش قهوه‌ای شدن گردید. در همین راستا، Mielea و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که یک سیستم غذایی که دانسیته کمتری به علت این که هوای بیشتری در آن نفوذ کرده است پارامتر روشنایی رنگ بیشتری را نشان خواهد داد. Chatchavanthatri

رنگ دونات فاقد شکر

جدول ۱۳ تجزیه واریانس برای بررسی تاثیر حذف شکر روی رنگ دونات‌های مورد آزمون را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است؛ اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون از نظر پارامترهای مختلف رنگ شامل روشنایی (L)، قرمزی (a)، زردی (L)، شدت تغییرات رنگ (dE)، کروما (Cr)، اندیس قهوه‌ای شدن (BI) معنی دار بوده است. شکل ۴ رنگ پوسته دونات‌های مورد آزمون را شامل دونات شاهد (شکل ۴-الف)، دونات با ۵۰ درصد جایگزینی شکر (شکل ۴-ب) و دونات فاقد شکر (شکل ۴-ج) را نشان می‌دهد. جدول ۱۴ مقایسه میانگین پارامترهای رنگی دونات را تحت تاثیر حذف شکر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش درصد حذف شکر روشنایی محصول به طور معنی داری افزایش یافت. همچنین با کاهش میزان شکر در فرمولاسیون قرمزی دونات به طور معنی داری کاهش

۴ Denaturation

1 Thermosetting mechanism

2 Diffusion

3 Interconnectivity

که پلی آل ها در واکنش مایلارد شرکت نمی کنند و قند احیاء کننده نیستند و موجب روشنایی محصول پخت خواهند شد. (Akesowan ۲۰۰۹) بیان کرد که روشنایی کیک با سطح جایگزینی اریتریتول به طور معنی داری تغییر کرد در حالی که قرمزی و زردی تغییر خاصی نداشت. Laroque و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند نوع قند از پارامترهای مهم در نرخ واکنش مایلارد است. بنابراین نوع قند می تواند روی تولیدات ناشی از مایلارد موثر باشد و موجب حفظ خصوصیات سلامتی و عملگرایی ماده غذایی گردد.

ماندگاری دونات فاقد شکر

جدول ۱۵ تجزیه واریانس را برای شاخص ماندگاری نرمی بافت و عدم جذب آیسینگ در تیمارهای مورد آزمون نشان می دهد. همانطور که مشخص است، تیمارهای مورد آزمون از این نظر اختلاف معنی دار در امتیاز ارزیابی طی ۱۴ روز داشتند.

و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند ظاهر، طعم، رنگ و بافت مواد غذایی می تواند تحت تاثیر میزان شکر باشد. همچنین، اشاره کردند که نسبت های مختلف جایگزینی شکر می تواند روی پارامترهای رنگی موثر باشد و موجب روشنایی بیشتر و قرمزی کمتر گردد. مواد غذایی حاوی شکر تیره تر هستند. آن ها واکنش میان ساکارز و آب را که موجب واکنش مایلارد و کاراملیزسیون^۱ می گردد، دلیل احتمالی آن دانستند. البته، Bajaj و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که تغییرات رنگ طی نگهداری ممکن است تحت تاثیر اکسیژن موجود در بسته بندی باشد. Ronda و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که استفاده از پلی آل ها (مانند اریتریتول) به عنوان جایگزین در محصولات نانوائی فاقد شکر موجب بروز رنگ روشن تر در محصول می شوند که علت آن عدم شرکت پلی آل ها در واکنش مایلارد است، زیرا فاقد یک گروه آلدهید واکنش پذیر هستند. Zoulias و همکاران (۲۰۰۰) تاثیر معنی دار نوع شیرین کننده روی فاکتور زردی رنگ را گزارش نکردند و بیان کردند

جدول ۱۳- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی پارامترهای رنگی دونات

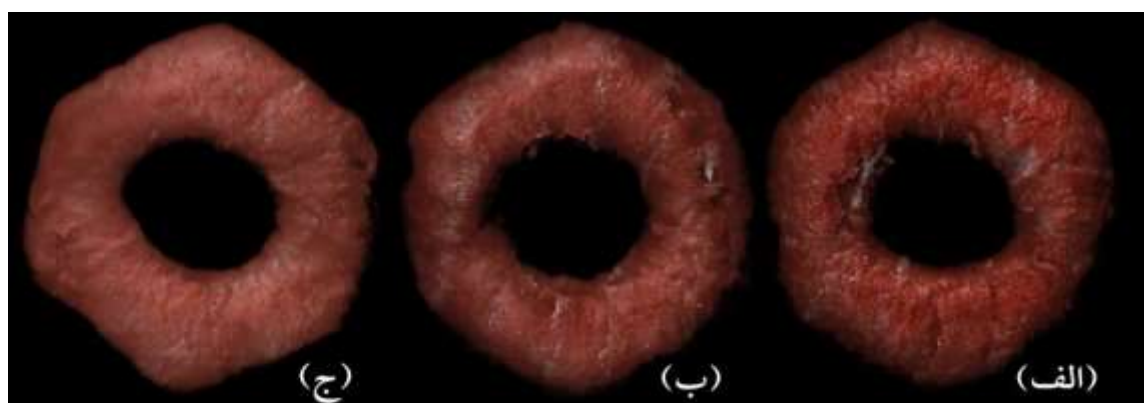
پارامتر رنگی	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
L	تیمار ۶۰۹/۰۲۲	۲	۳۰۴/۵۱۱	۱۸۷/۰۶۴	۰/۰۰۰۰
	خطا ۹/۷۶۷	۶	۱/۶۲۸		
	کل ۶۱۸/۷۸۹	۸			
a	تیمار ۹۴۱/۳۹۷	۲	۴۷۰/۶۹۸	۴۰۷/۱۴۰	۰/۰۰۰۰
	خطا ۶/۹۳۷	۶	۱/۱۵۶		
	کل ۹۴۸/۳۳۳	۸			
b	تیمار ۵۹/۹۱۲	۲	۲۹/۹۵۶	۱۱/۰۸۹	۰/۰۱۰
	خطا ۱۶/۲۰۸	۶	۲/۷۰۱		
	کل ۷۶/۱۲۱	۸			
dE	تیمار ۱۱۰۶/۸۵۸	۲	۵۵۳/۴۲۹	۸۶۷/۹۳۸	۰/۰۰۰
	خطا ۳/۸۲۶	۶	۰/۶۳۸		
	کل ۱۱۱۰/۶۸۴	۸			
Cr	تیمار ۵۴۴/۸۳۰	۲	۲۷۲/۴۱۵	۲۰۹/۴۸۴	۰/۰۰۰
	خطا ۷/۸۰۲	۶	۱/۳۰۰		
	کل ۵۵۲/۶۳۳	۸			
BI	تیمار ۱۲۰۴۱۴/۷۵۹	۲	۶۰۲۰۷/۳۷۹	۲۱۹/۷۹۵	۰/۰۰۰
	خطا ۱۶۴۳/۵۴۸	۶	۲۷۳/۹۲۵		
	کل ۱۲۲۰۵۸/۳۰۷	۸			

شکر به طور معنی داری بیشتر بود که دلیل آن می تواند حجم، تخلخل و رطوبت بالاتر باشد؛ که البته از این نظر با شاهد اختلاف معنی دار

جدول ۱۶ مقایسه میانگین امتیاز نرمی بافت و عدم جذب آیسینگ را در تیمارهای مورد آزمون نشان می دهد. نرمی بافت در نمونه فاقد

نداشت. عدم جذب آیسینگ در نمونه شاهد میانگین امتیاز بالاتری را طی ارزیابی دریافت کرد اما از این نظر با نمونه فاقد شکر اختلاف معنی داری نشان نداد. نمونه حاوی ۵۰ درصد شکر در فرمولاسیون نیز نرمی بافت کمتری داشت و جذب آیسینگ بالاتری را نشان داد. دونات فاقد شکر نرمی بافت بالاتری در مقایسه با شاهد داشت و ماندگاری مطلوبی نشان داد. در همین راستا، Zhou و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که توسعه اولیه واکنش مایلارد موجب تغییرات در سختی می شود. بنابراین جایگزینی قندهای احیاء با ترکیبات غیرقابل احیاء مانند قند الکلهای در فرمولاسیون تغییرات بافتی را در جهت سخت شدن کاهش می دهد. زیرا واکنش مایلارد موجب کاهش قندهای در دسترس

به عنوان پلاستیسایزر^۱ در فرمولاسیون خواهد شد. Savitha و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که شیرین کننده روی بافت محصول موثر است زیرا هیدراتاسیون را کنترل می نماید و تمایل به پراکندگی مولکولهای نشاسته و پروتئین دارد و در نتیجه از تشکیل یک توده پیوسته^۲ جلوگیری می نماید. Kulthe و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که جایگزینی ۱۵-۲۰ شکر در کوکی با پودر برگ استویا موجب کاهش سختی محصول نهایی پخت گردید. Chatchavanthatri و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کردند که بافت محصول می تواند تحت تاثیر میزان شکر باشد. نوع شیرین کننده می تواند در تشکیل شبکه های ساختاری بافت موثر باشد و موجب نرمی گردد.



شکل ۴- رنگ پوسته دونات های مورد آزمون (الف) شاهد (ب) ۵۰ درصد جایگزینی شکر (ج) ۱۰۰ درصد جایگزینی شکر

جدول ۱۴- مقایسه میانگین پارامترهای رنگی دونات تحت تاثیر نسبت های مختلف جایگزینی شکر

	تیمار (نسبت جایگزینی شکر بر حسب درصد)		
	۱۰۰	۵۰	صفر (شاهد)
L	۴۷/۴۹۷±۱/۱۲۴ ^a	۳۵/۲۵۹±۱/۷۲۶ ^b	۲۷/۵۱۵±۰/۸۰۰ ^c
a	۹/۷۱۴±۱/۳۷۶ ^c	۲۸/۵۵۶±۰/۹۹۱ ^b	۳۳/۴۳۲±۰/۷۶۹ ^a
b	۳۶/۹۸۹±۱/۲۳۲ ^a	۳۱/۱۲۷±۱/۳۰۷ ^b	۳۶/۱۰۴±۲/۲۰۸ ^a
dE	۳۶/۲۲۶±۰/۵۱۶ ^c	۵۳/۱۶۱±۱/۲۰۸ ^b	۶۳/۰۸۸±۰/۴۳۱ ^a
Cr	۱۷/۳۳۷±۱/۳۹۸ ^c	۲۹/۷۷۷±۱/۱۹۹ ^b	۳۶/۰۶۱±۰/۷۱۱ ^a
BI	۱۴۵/۷۳۶±۲/۷۹۶ ^c	۲۱۴/۴۸۱±۵/۹۳۳ ^b	۴۱۸/۱۴۸±۲۷/۹۰۶ ^a

- حروف لاتین کوچک نشان دهنده مقایسه بین تیمارها است.

ارزیابی حسی دونات

جدول های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ تجزیه واریانس را برای مقایسه تیمارهای مختلف در یک روز را نشان می دهد. همچنین جدول های ۲۰، ۲۱ و ۲۲

تجزیه واریانس را برای یک تیمار در روزهای مختلف نگهداری مشخص می نماید. همانطور که مشخص است، اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون معنی دار بوده است.

جدول ۱۵- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی ماندگاری دونات

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)		
۰/۰۲۸	۳/۹۲۷	۲۳/۱۶۷	۲	۴۶/۳۳۳	تیمار	نرمی بافت
		۵/۸۹۹	۳۹	۲۳۰/۰۷۱	خطا	
			۴۱	۲۷۶/۴۰۵	کل	
۰/۰۹۰	۲/۵۶۰	۱۷/۱۶۷	۲	۳۴/۳۳۳	تیمار	عدم جذب آیسینگ
		۶/۷۰۵	۳۹	۲۶۱/۵۰۰	خطا	
			۴۱	۲۹۵/۸۳۳	کل	

جدول ۱۶- مقایسه میانگین شاخص های ماندگاری دونات تحت تاثیر نسبت های مختلف جایگزینی شکر

تیمار (نسبت جایگزینی شکر بر حسب درصد)			
۱۰۰	۵۰	صفر (شاهد)	
۸/۱۴۲±۱/۹۹۴ ^a	۵/۵۷۱±۲/۶۵۱ ^b	۶/۹۲۸±۲/۵۸۵ ^{ab}	نرمی بافت
۶/۱۴۲±۲/۴۷۶ ^{ab}	۵/۰۷۱±۳/۰۴۹ ^b	۷/۲۸۵±۲/۱۶۳ ^a	عدم جذب آیسینگ

- حروف لاتین کوچک نشان دهنده مقایسه بین تیمارها است.

جدول ۱۷- تجزیه واریانس برای داده های ارزیابی حسی دونات های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد شکر در روز اول

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	پارامتر حسی	
۰/۰۹۴	۲/۵۸۵	۰/۹۰۰	۲	۱/۸۰۰	بین گروه ها	رنگ
		۰/۳۴۸	۲۷	۹/۴۰۰	داخل گروه ها	
			۲۹	۱۱/۲۰۰	کل	
۰/۱۵۶	۱/۹۹۵	۱/۶۳۳	۲	۳/۲۶۷	بین گروه ها	طعم
		۰/۸۱۹	۲۷	۲۲/۱۰۰	داخل گروه ها	
			۲۹	۲۵/۳۶۷	کل	
۰/۰۱۰	۵/۵۲۳	۳/۶۰۰	۲	۷/۲۰۰	بین گروه ها	بو
		۰/۶۵۲	۲۷	۱۷/۶۰۰	داخل گروه ها	
			۲۹	۲۴/۸۰۰	کل	
۰/۰۰۰	۲۵/۱۳۲	۱۹/۷۳۳	۲	۳۹/۴۶۷	بین گروه ها	بافت
		۰/۷۸۵	۲۷	۲۱/۲۰۰	داخل گروه ها	
			۲۹	۶۰/۶۶۷	کل	
۰/۰۰۰	۱۲/۷۹۱	۱۲/۰۳۳	۲	۲۴/۰۶۷	بین گروه ها	پذیرش کلی
		۰/۹۴۱	۲۷	۲۵/۴۰۰	داخل گروه ها	
			۲۹	۴۹/۴۶۷	کل	

اختلاف معنی داری وجود نداشت. از نظر طعم نیز در روز اول نگهداری میان تیمارهای مورد آزمون اختلاف معنی داری وجود نداشت و در روزهای دوم و سوم میان شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین کننده رژیمی اختلاف معنی دار وجود نداشت و بالاترین نمرات را در ارزیابی داشتند. از نظر پارامتر حسی بو نمونه شاهد شرایط بهتری را نشان داد و البته اختلاف معنی داری با تیمار حاوی ۱۰۰ درصد شیرین کننده

جدول ۲۳ مقایسه میانگین نمرات ارزیابی حسی را برای درجه های مختلف جانشینی شکر نشان می دهد. همواره بیشترین نمرات ارزیابی تیمارها در روز اول نگهداری به دست آمده است و تغییرات معنی دار برای نمرات ارزیابی حسی در نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین کننده طی روزهای مختلف کمتر مشاهده شد. از نظر پذیرش پارامتر حسی رنگ میان نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین کننده رژیمی

مشاهده نشد. از نظر ارزیابی حسی بافت بهترین نمرات را نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین کننده داشت و از این نظر با نمونه شاهد اختلاف معنی داری نشان داد. تنها در روز سوم نگهداری نمونه شاهد و شیرین کننده اختلاف معنی دار مشاهده نشد.

جدول ۱۸- تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد شکر در روز دوم

پارامتر حسی	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
رنگ	بین گروه‌ها	۲	۳/۰۳۳	۴/۲۲۲	۰/۰۲۵
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۷۱۹		
	کل	۲۹			
طعم	بین گروه‌ها	۲	۴/۰۳۳	۶/۰۱۷	۰/۰۰۷
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۶۷۰		
	کل	۲۹			
بو	بین گروه‌ها	۲	۶/۶۳۳	۱۵/۳۰۸	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۴۳۳		
	کل	۲۹			
بافت	بین گروه‌ها	۲	۱۵/۷۰۰	۱۹/۸۰۸	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۷۹۳		
	کل	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروه‌ها	۲	۱۵/۱۰۰	۲۷/۹۲۵	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۵۴۱		
	کل	۲۹			

جدول ۱۹- جدول تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد شکر در روز سوم

پارامتر حسی	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
رنگ	بین گروه‌ها	۲	۳/۳۳۳	۳/۳۰۹	۰/۰۵۲
	داخل گروه‌ها	۲۷	۱/۰۰۷		
	کل	۲۹			
طعم	بین گروه‌ها	۲	۵/۲۳۳	۵/۳۳۲	۰/۰۱۱
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۹۸۱		
	کل	۲۹			
بو	بین گروه‌ها	۲	۶/۳۰۰	۹/۶۱۰	۰/۰۰۱
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۶۵۶		
	کل	۲۹			
بافت	بین گروه‌ها	۲	۱۳/۶۳۳	۱۴/۹۶۳	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۹۱۱		
	کل	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروه‌ها	۲	۱۶/۹۰۰	۲۷/۰۰۰	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۶۲۶		
	کل	۲۹			

جدول ۲۰- جدول تجزیه واریانس برای داده های ارزیابی حسی دونات ۱۰۰ درصد شکر در روزهای نگهداری

پارامتر حسی	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
رنگ	بین گروه ها ۷/۲۶۷	۲	۳/۶۳۳	۴/۱۳۹	۰/۰۲۷
	داخل گروه ها ۲۳/۷۰۰	۲۷	۰/۸۷۸		
	کل ۳۰/۹۶۷	۲۹			
طعم	بین گروه ها ۸/۴۶۷	۲	۴/۲۳۳	۵/۸۰۲	۰/۰۰۸
	داخل گروه ها ۱۹/۷۰۰	۲۷	۰/۷۳۰		
	کل ۲۸/۱۶۷	۲۹			
بو	بین گروه ها ۱۱/۲۶۷	۲	۵/۶۳۳	۱۳/۰۰۰	۰/۰۰۰
	داخل گروه ها ۱۱/۷۰۰	۲۷	۰/۴۳۳		
	کل ۲۲/۹۶۷	۲۹			
بافت	بین گروه ها ۹/۸۰۰	۲	۴/۹۰۰	۵/۴۶۷	۰/۰۱۰
	داخل گروه ها ۲۴/۲۰۰	۲۷	۰/۸۹۶		
	کل ۳۴/۰۰۰	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروه ها ۸/۶۰۰	۲	۴/۳۰۰	۵/۱۳۷	۰/۰۱۳
	داخل گروه ها ۲۲/۶۰۰	۲۷	۰/۸۳۷		
	کل ۳۱/۲۰۰	۲۹			

جدول ۲۱- جدول تجزیه واریانس برای داده های ارزیابی حسی دونات ۵۰ درصد شکر در روزهای نگهداری

پارامتر حسی	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
رنگ	بین گروه ها ۱۸/۰۶۷	۲	۹/۰۳۳	۱۳/۱۱۳	۰/۰۰۰
	داخل گروه ها ۱۸/۶۰۰	۲۷	۰/۶۸۹		
	کل ۳۶/۶۶۷	۲۹			
طعم	بین گروه ها ۱۸/۰۶۷	۲	۹/۰۳۳	۱۵/۸۳۸	۰/۰۰۰
	داخل گروه ها ۱۵/۴۰۰	۲۷	۰/۵۷۰		
	کل ۳۳/۴۶۷	۲۹			
بو	بین گروه ها ۱۶/۴۶۷	۲	۸/۲۳۳	۱۳/۱۵۴	۰/۰۰۰
	داخل گروه ها ۱۶/۹۰۰	۲۷	۰/۶۲۶		
	کل ۳۳/۳۶۷	۲۹			
بافت	بین گروه ها ۷/۲۰۰	۲	۳/۶۰۰	۸/۱۰۰	۰/۰۰۲
	داخل گروه ها ۱۲/۰۰۰	۲۷	۰/۴۴۴		
	کل ۱۹/۲۰۰	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروه ها ۱۲/۸۰۰	۲	۶/۴۰۰	۱۲/۰۰۰	۰/۰۰۰
	داخل گروه ها ۱۴/۴۰۰	۲۷	۰/۵۳۳		
	کل ۲۷/۲۰۰	۲۹			

جدول ۲۲- جدول تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات صفر درصد شکر در روزهای نگهداری

پارامتر حسی	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
رنگ	بین گروه‌ها	۲	۵/۸۳۳	۱۱/۴۹۶	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۵۰۷		
	کل	۲۹			
طعم	بین گروه‌ها	۲	۴/۹۳۳	۴/۲۱۵	۰/۰۲۶
	داخل گروه‌ها	۲۷	۱/۱۷۰		
	کل	۲۹			
بو	بین گروه‌ها	۲	۳/۷۳۳	۵/۴۷۸	۰/۰۱۰
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۶۸۱		
	کل	۲۹			
بافت	بین گروه‌ها	۲	۷/۲۳۳	۶/۳۰۰	۰/۰۰۶
	داخل گروه‌ها	۲۷	۱/۱۴۸		
	کل	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروه‌ها	۲	۳/۷۳۳	۵/۰۶۵	۰/۰۱۴
	داخل گروه‌ها	۲۷	۰/۷۳۷		
	کل	۲۹			

جدول ۲۳- مقایسه میانگین ارزیابی پارامترهای حسی در تیمارهای مورد آزمون در روزهای نگهداری

پارامتر حسی	شکر-استویا	روز اول	روز دوم	روز سوم
رنگ	۰-۱۰۰	۷/۶۰۰±۰/۵۱۶ ^{Aab}	۶/۹۰۰±۰/۸۷۵ ^{ABab}	۶/۴۰۰±۱/۲۶۴ ^{Ba}
	۵۰-۵۰	۷/۳۰۰±۰/۶۷۴ ^{Ab}	۶/۳۰۰±۰/۹۴۸ ^{Bb}	۵/۴۰۰±۰/۸۴۳ ^{Cb}
	۱۰۰-۰	۷/۹۰۰±۰/۵۶۷ ^{Aa}	۷/۴۰۰±۰/۶۹۹ ^{Aa}	۶/۴۰۰±۰/۸۴۳ ^{Ba}
طعم	۰-۱۰۰	۷/۸۰۰±۰/۶۳۲ ^{Aa}	۷/۲۰۰±۰/۷۸۸ ^{ABa}	۶/۵۰۰±۱/۰۸۰ ^{Ba}
	۵۰-۵۰	۷/۱۰۰±۰/۸۷۵ ^{Aa}	۶/۱۰۰±۰/۷۳۷ ^{Bb}	۵/۲۰۰±۰/۶۳۲ ^{Cb}
	۱۰۰-۰	۷/۸۰۰±۱/۱۳۵ ^{Aa}	۷/۲۰۰±۰/۹۱۸ ^{ABa}	۶/۴۰۰±۱/۱۷۳ ^{Ba}
بو	۰-۱۰۰	۸/۴۰۰±۰/۵۱۶ ^{Aa}	۷/۶۰۰±۰/۵۱۶ ^{Ba}	۶/۹۰۰±۰/۸۷۵ ^{Ca}
	۵۰-۵۰	۷/۲۰۰±۱/۰۳۲ ^{Ab}	۶/۱۰۰±۰/۷۳۷ ^{Bb}	۵/۴۰۰±۰/۵۱۶ ^{Bb}
	۱۰۰-۰	۷/۸۰۰±۰/۷۸۸ ^{Aab}	۷/۴۰۰±۰/۶۹۹ ^{Aa}	۶/۶۰۰±۰/۹۶۶ ^{Ba}
بافت	۰-۱۰۰	۷/۸۰۰±۰/۹۱۸ ^{Ab}	۶/۷۰۰±۰/۹۴۸ ^{Bb}	۶/۵۰۰±۰/۹۷۱ ^{Ba}
	۵۰-۵۰	۶/۲۰۰±۰/۷۸۸ ^{Ac}	۵/۶۰۰±۰/۵۱۶ ^{ABc}	۵/۰۰۰±۰/۶۶۶ ^{Bb}
	۱۰۰-۰	۹/۰۰۰±۰/۹۴۲ ^{Aa}	۸/۱۰۰±۱/۱۰۰ ^{ABa}	۷/۳۰۰±۱/۱۵۹ ^{Ba}
پذیرش کلی	۰-۱۰۰	۸/۱۰۰±۰/۸۷۵ ^{Aa}	۷/۳۰۰±۰/۹۴۸ ^{ABa}	۶/۸۰۰±۰/۹۱۸ ^{Ba}
	۵۰-۵۰	۶/۲۰۰±۱/۰۳۲ ^{Ab}	۵/۴۰۰±۰/۵۱۶ ^{Bb}	۴/۶۰۰±۰/۵۱۶ ^{Cb}
	۱۰۰-۰	۸/۱۰۰±۰/۹۹۴ ^{Aa}	۷/۷۰۰±۰/۶۷۴ ^{Aa}	۶/۹۰۰±۰/۸۷۵ ^{Ba}

- حروف لاتین بزرگ مقایسه بین روزها در هر تیمار می‌باشد و حروف لاتین کوچک مقایسه بین تیمارها در هر روز است.

در تمامی پارامترهای حسی نمونه حاوی ۵۰ درصد شکر نمرات ارزیابی کمتری را با اختلاف معنی‌دار نشان داد و تنها از نظر طعم در روز اول یا دو تیمار دیگر اختلاف نداشت. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نشان داد که جایگزینی ۱۰۰ درصد شکر با مخلوط شیرین‌کننده از

درجه جانشینی ۱۰۰ درصد امکان سنجی شد و موفقیت آمیز بود. در مجموع دونات فاقد شکر (حاوی استویا، پلی آل اریتریتول و مالتودکسترین) به طور معنی داری حاوی رطوبت بالاتری نسبت به سایر تیمارها بود و اتلاف رطوبت آن کمتر بود ولی از نظر آماری با شاهد اختلاف معنی داری نداشت. هیچکدام از شاخص های جذب روغن میان تیمارهای مورد آزمون طی حذف شکر اختلاف معنی دار نداشت. میانگین ارزیابی ماندگاری روزانه دونات فاقد شکر بهتر یا مشابه با دونات شاهد بود و دونات فاقد شکر نرمی بافت بسیار مطلوبی داشت. دونات فاقد شکر رنگ روشن تر در مقایسه با دونات شاهد داشت که به دلیل کاهش قند احیای در دسترس فرمولاسیون می باشد. حجم و تخلخل مناسب در دونات فاقد شکر مشاهده شد که این افزایش حجم اثر معنی داری در افزایش جذب روغن نداشت. جانشینی ۵۰ درصد مخلوط شیرین کننده به جای شکر اثرات مطلوب مورد نظر را، به گونه ای که از نظر کیفی توجیه پذیر باشد، ارائه نداد. ارزیابی حسی دونات فاقد شکر در مقایسه با نمونه حاوی شکر امتیازات بالاتری داشت و پذیرش کلی آن از نظر مصرف کننده مناسب بود. در ارزیابی حسی از نظر طعم هیچ گونه اثر نامطلوبی در فرمولاسیون فاقد شکر مشاهده نشد و ارزیاب ها طعم شیرینی دونات فاقد شکر را با دونات شاهد مشابه تشخیص دادند و در بیشتر موارد توانایی ایجاد تمایز میان دو نمونه را نداشتند. کاربرد مالتودکسترین به عنوان پرکننده در محصول دونات طی حذف شکر مناسب بود. بررسی مالتودکسترین ها با درجه معادل دکستروز مختلف به عنوان پرکننده طی حذف شکر در محصولات می تواند یک موضوع تحقیقاتی برای بهبود محصولات دیابتی باشد. بهبود خواص آیسینگ فاقد شکر می تواند از اهداف تحقیق و توسعه برای دونات فاقد شکر باشد. تحقیقات جهت حذف شکر در سایر محصولات پخت ضرورت دارد و می تواند مفید ارزیابی شود.

مطلوبیت مناسبی برای مصرف کننده برخوردار بوده است. نمونه شاهد تنها از نظر عطر و بو از نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین کننده بهتر بوده است که می تواند به تشکیل بیشتر عوامل واکنش میلارد در حضور شکر مرتبط باشد و البته این اختلاف در میانگین برابر با ۰/۶ بود که می تواند ناچیز در نظر گرفته شود.

دونات فاقد شکر ارزیابی حسی رنگ، طعم، بو و بافت و پذیرش کلی مطلوبی نشان داد. در همی راستا، Savitha و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند کاربرد بیشتر مالتودکسترین (۳۰ درصد) در فرمولاسیون محصول بیسکوئیت موجب احساس دهانی مطلوب شد. Chatchavanthatri و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کردند که ارزیابی حسی رنگ و پذیرش کلی تحت تاثیر کاربرد شیرین کننده جایگزین مانند مالتیتول^۱ بهبود یافت و احساس دهانی مطلوب مشاهده شد. Zoulias و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند کوکی های حاصل از ساکارز نسبت به سایر شیرین کننده ها سخت تر و خشک تر بودند. آن ها نوع شیرین کننده را در تشخیص پارامترهای حسی موثر دانستند. ارزیابی حسی کوکی های تولید شده با زایلیتول^۲ شیرینی یکسانی با ساکارز نشان داد. همچنین کوکی های فرمول شده با گلوکز نرم تر بودند و پس طعم داشتند. Bajaj و همکاران (۲۰۰۶) نیز نمرات ارزیابی حسی را برای بیسکوئیت در تیمارهای مختلف برای پایان دوره نگهداری پایین تر از ابتدای دوره مشاهده نمودند. Rodríguez-García و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که در جایگزینی شکر بافت و طعم روند مشابهی با پذیرش کلی نشان داد. آن ها گزارش کردند که نمونه با جایگزینی ۵۰ درصد شکر در ارزیابی حسی درصد پایین تری از پذیرش کلی را به خود اختصاص داد. Struck و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاربرد مالتودکسترین محصول را در محدوده سطح روشن و سطح نرم قرار می دهد.

نتیجه گیری

در این پژوهش، کاربرد "مخلوط شیرین کننده" شامل استویا، اریتریتول و مالتودکسترین به جای شکر در تولید محصول دونات 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.
- Akesowan, A. (2009). Quality of reduced-fat chiffon cakes prepared with erythritol-sucralose as replacement for sugar. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9), 1383-1386.
- Anonymous (2006). Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*, L 404/9 from 30.12.2006.
- AOAC. (1995). Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, Unites States.
- Bajaj, S., Urooj, A., and Prabhasankar, P. (2006). Effect of incorporation of mint on texture, colour and sensory parameters of biscuits. *International Journal of Food Properties*, 9(4), 691-700.

^۲ Xylitol

^۱ Maltitol

- Chatchavanthatri, N., Junyusen, T., Arjharn, W., Moolkaew, P., Sornsomboonsuk, S. (2019). Effects of replacement of sucrose by maltitol on the physicochemical and sensorial properties of rose apple jam. *International Journal of Food Engineering*, 5(2), 136-140.
- Chronakis, I. S. (1998). On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(7), 599-637.
- Correa, D. A., Castillo, P. M., and Martelo, R. J. (2018). Immersion frying characterization of colombian donut. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(45), 2237 – 2247.
- Dadali, G., Kılıç Apar, D., and Özbek, B. (2007). Color change kinetics of okra undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25(5), 925-936.
- Dana, D., and Saguy, I. S. (2006). Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in colloid and interface science*, 128, 267-272.
- Daniels, C. (2017). How to replace stevia for sugar in baking cakes. Healthy Eating | SF Gate, <http://healthyeating.sfgate.com/replace-stevia-sugar-baking-cakes-3385.html>. 20 July.
- 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.
- Gasmalla, M. A. A., Yang, R., and Hua, X. (2014). Stevia rebaudiana Bertoni: an alternative sugar replacer and its application in food industry. *Food Engineering Reviews*, 6(4), 150-162.
- Ghosh, S., and Sudha, M. L. (2012). A review on polyols: new frontiers for health-based bakery products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(3), 372-379.
- Gomez, M. (2008). Low-sugar and low-fat sweet goods. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods* (edited by S.G. Sumnu and S. Sahin) Pp. 245–273. Boca Raton: CRC Press.
- Grenby, T. H. (1991). Intense sweeteners for the food industry: an overview. *Trends in Food Science and Technology*, 2, 2-6.
- Kaur, S. (2018). Development of gluten free low calories Pancake (Doctoral dissertation, Lovely Professional University).
- Kennedy, J. F., Knill, C. J., and Taylor, D. W. (1995). Maltodextrins. In *Handbook of starch hydrolysis products and their derivatives* (pp. 65-82). Springer, Boston, MA.
- Kulthe, A. A., Pawar, V. D., Kotecha, P. M., Chavan, U. D., and Bansode, V. V. (2014). Development of high protein and low calorie cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 153-157.
- Laroque, D., Inisan, C., Berger, C., Voulard, É., Dufossé, L., and Guérard, F. (2008). Kinetic study on the Maillard reaction. consideration of sugar reactivity. *Food Chemistry*, 111(4), 1032-1042.
- 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.
- 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. *Journal of Food Quality*, 33, 14-26.
- Manisha, G., Soumya, C., and Indrani, D. (2012). Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 363-373.
- Mariotti, M., and Alamprese, C. (2012). About the use of different sweeteners in baked goods. Influence on the mechanical and rheological properties of the doughs. *LWT-Food Science and Technology*, 48(1), 9-15.
- 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.
- Mielea, N. A., Di Monaco, R., Masia, P., and Cavellaa, S. (2015). Reduced-calorie filling cream: Formula optimization and mechanical characterization. *Chemical Engineering*, 43.
- Nabors, L.O. (2012). Alternative sweeteners: an overview. In: *Alternative Sweeteners* (edited by L.O. Nabors) pp. 1–10. Boca Raton: CRC Press.
- 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.
- Nelson AL. (2000). Sweeteners: alternative. St. Paul: Egan Press.
- Nip, W. K. (2006). Sweeteners. In: *Bakery Products: Science and Technology* (edited by Y.H. Hui) Pp. 137–159. Ames: Blackwell.
- Parsons, M., Khan, M., Parsons, M., & Khan, M. (2013). Stop squeezing the jelly out of my donuts-krispy kreme case study. *Journal of Hospitality & Tourism Cases*, 2(2), 22-27.
- Rodríguez-García, J., Salvador, A., and Hernando, I. (2014). Replacing fat and sugar with inulin in cakes: bubble size distribution, physical and sensory properties. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 964-974.
- 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.
- Ronda, F., Gómez, M., Blanco, C. A., and Caballero, P. A. (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90(4), 549-555.

- Sabbaghi, H., Ziaiiifar, 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.
- Sajilata, M. G., and Singhal, R. S. (2005). Specialty starches for snack foods. *Carbohydrate Polymers*, 59(2), 131-151.
- 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.
- Savita, S. M., Sheela, K., Sunanda, S., Shankar, A. G., and Ramakrishna, P. (2004). Stevia rebaudiana—A functional component for food industry. *Journal of Human Ecology*, 15(4), 261-264.
- Savitha, Y. S., Indrani, D., and Prakash, J. (2008). Effect of replacement of sugar with sucralose and maltodextrin on rheological characteristics of wheat flour dough and quality of soft dough biscuits. *Journal of Texture studies*, 39(6), 605-616.
- Shahidi Noghabi, M., Niazmand, R. and Ghaeeni, Z. (2016). Effect of dry milk and Stevia sweetener amounts on the amount of acryl amide and chemical properties of donuts products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 8(1), 41-65. doi: 10.22069/ejfp.2016.3135.
- 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.
- Storey, D., Lee, A., Bornet, F., and Brouns, F. J. P. H. (2007). Gastrointestinal tolerance of erythritol and xylitol ingested in a liquid. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(3), 349.
- Struck, S., Jaros, D., Brennan, C. S., and Rohm, H. (2014). Sugar replacement in sweetened bakery goods. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(9), 1963-1976.
- 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.
- Zahn, S., Forker, A., Krügel, L., and Rohm, H. (2013). Combined use of rebaudioside A and fibres for partial sucrose replacement in muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 695-701.
- Zhou, P., Guo, M., Liu, D., Liu, X., and Labuza, T. P. (2013). Maillard reaction induced modification and aggregation of proteins and hardening of texture in protein bar model systems. *Journal of Food Science*, 78(3), C437-C444.
- Ziaiiifar, 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.
- Zoulias, E. I., Oreopoulou, V., and Kounalaki, E. (2002). Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(14), 1637-1644.
- Zoulias, E. I., Piknis, S., and Oreopoulou, V. (2000). Effect of sugar replacement by polyols and acesulfame-K on properties of low-fat cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14), 2049-2056.



Production of sugar-free doughnut by replacing sugar with dietary sweeteners of stevia, erythritol and maltodextrin

H. Sabbaghi*

Received: 2020.07.02

Accepted: 2020.07.27

Introduction: Doughnut is one of the most widely consumed food products in the world due to its suitable organoleptic properties. Today, with the spread of diabetes and lifestyle changes, consumers are paying more attention to the use of sugar-free foods and dietary products. In the bakery products, sweeteners play an important role in providing moisture, sweetening, texture formation and increasing the shelf life of the final product. Sweeteners intended to replace sucrose should be water-soluble, with enough flavor, and cost-effective. Also, these compounds must also comply with national and international law. Stevia, which is composed of steviol and glycosides, is resistant to heat and pH and is not fermentable. Therefore, its amount should be chosen in such a way that it has no effect on cooking. In contrast, sweeteners containing dextrose and maltodextrin are also heat-resistant and can affect cooking and maintain the quality properties of fermentation. In order to use stevia in products as a substitute for sugar to maintain the formulation ratios, the fillers including low-calorie sweeteners such as erythritol and maltodextrin should be used. Therefore, in this study, the feasibility of producing sugar-free doughnuts as a dietary product was studied using stevia, erythritol and maltodextrin as sugar substitutes.

Materials and Methods: The low calorie sweetener blend (stevia, erythritol and maltodextrin) was designed in the first step. It was found that if 46.175 g of stevia and 1997.82 g of erythritol were mixed and homogenized, a mixture would be obtained with sweetness four times higher than sucrose. So, the "sweetener blend" was used for one-fourth of the sugar removal mass and the rest was compensated with filler as maltodextrin. Instead of sugar, this mixture was added with zero ratio (control), 50 (low sugar) and 100% (no sugar) in the formulation of doughnuts and icing. Evaluation of qualitative characteristic including moisture content, oil absorption, density, color and porosity ratio and sensory analysis for doughnuts were performed. The properties of shelf life, including soft tissue assessment, non-absorption of icing and non-growth of mold were also investigated within 14 days. Statistical analysis was performed in a completely randomized design ($p < 0.05$).

Results and Discussion: The results showed that replacing 100% sugar in doughnuts was successful in terms of maintaining quality characteristics. The quality properties of doughnuts with 50% replacement (low sugar product) were not desirable. Sugar-free doughnuts had good quality properties (density, porosity, color and shelf-life) compared to the control. Replacing the type of sweetener from sucrose to alcohol sugar can increase the moisture level of the product. As the amount of erythritol increased (no sugar sample), the texture became more moist and soft. The oil uptake of sugar-free doughnut did not show significant difference from the control sample and its sensory evaluation was so favorable. Maltodextrin could act as a bulking agent, stabilizer, and thickener agent in a sugar free formulation. Sugar free doughnuts had more brightness (L^*) and less redness (a^*), and its yellowness (b^*) did not show significant difference with the control sample. It can be said that because more air has penetrated in sugar free doughnut the brightness parameter (L^*) increased. The use of polyols (erythritol) results in a brighter color in the product, which is due to the lack of participation of polyols in the Millard reaction because they lack a reactive aldehyde group. The early development of the Millard reaction led to changes in hardness. Therefore, replacing reducing sugars with non-reducing compounds such as alcohol sugars in the formulation decreased tissue changes in the direction of hardening. Because of Millard reaction will reduce the sugars available as a plasticizer in the formulation. Sugar free doughnut showed suitable soft tissue during 14 days and indicated that sweetener has an effect on texture because it controls hydration and tends to disperse starch and protein molecules, thus preventing the formation of a continuous mass. No sugar doughnuts showed suitable sensory evaluation about color, taste, smell, texture, and overall acceptance. Therefore, a mixture of no-calorie and low-calorie sweeteners in this study can be used in the preparation of dietary doughnuts.

Keywords: Doughnut, Dietary, Stevia, Erythritol, Maltodextrin.

Ph D. Graduated of Food Materials and Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

(*Corresponding Author Email: hassansabbaghi@gmail.com)

مقاله پژوهشی

جدایش ناخالصی‌ها از دانه‌های خاکشیر به روش الکترواستاتیکی در بستر سیال (تریبواپروالکترواستاتیک)

مجتبی افشاری پور^۱ - هادی صمیمی اخیمجانی^{۲*} - کاظم جعفری نعیمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی عملکرد دستگاه تریبواپروالکترواستاتیک برای خالص‌سازی خاکشیر از ناخالصی‌های موجود در محصول جمع‌آوری شده از مزرعه است. دستگاه شامل دو بخش می‌باشد، محصولات در مرحله اول در واحد تریبوشاژر باردار شده و پس از سقوط آزاد در واحد جداساز الکترواستاتیک جدا می‌شوند. آزمایش با سه فاکتور ولتاژ اعمالی به الکترودها در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلو ولت، فاصله الکترودهای واحد تریبوشاژر در سه سطح ۹، ۱۵ و ۲۱ سانتی‌متر و زاویه الکترودهای واحد جداساز در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه صورت گرفت. خلوص محصولات به‌دست آمده در چهار جعبه با استفاده از کدنویسی در M-File محیط MATLAB6.5 و به کمک ابزار پردازش تصویر، تعیین گردید. میانگین خلوص خاکشیر موجود در جعبه شماره ۱ بسیار بالا، ۹۸٪ وزنی به‌دست آمد. برای تعیین مقدار بهینه ولتاژ، فاصله الکترودها و زاویه بر روی وزن چهار جعبه یک مدل ریاضی درجه ۲ پیشنهاد شد. همچنین معادلات رگرسیونی و نمودارهای سه بعدی برهمکنش فاکتورهای مورد بحث برای هر جعبه در نرم‌افزار STAT GR 1.1 تعیین و رسم شدند. مقادیر ضریب تبیین R^2 برای جعبه‌های ۱ تا ۴ جعبه جمع‌آوری مواد به ترتیب ۰/۹۰، ۰/۸۹، ۰/۷۵ و ۰/۸۷ بود که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، تریبواپروالکترواستاتیک، خالص‌سازی، ضریب تبیین، ولتاژ بالا.

مقدمه

وجود ناخالصی‌های گوناگون از قبیل: مواد زاید، بذر علف‌های هرز، ساقه، برگ، بذرهای آسیب‌دیده و ناقص و بذرهای کوچک در ریزدانه‌های گیاهی (بذرها و دانه‌های ریز) مشکلاتی را در زمان انبارکردن، انتقال، ذخیره‌سازی، فروش و مصرف ایجاد می‌کند. با جدا کردن بذر علف‌های هرز، از انتشار آن‌ها در مزرعه جلوگیری می‌شود. پاک‌سازی دانه مشکلاتی را که در زمان انبار کردن، انتقال، ذخیره‌سازی، خرید، فروش و مصرف رخ می‌دهد، کاهش خواهد داد (Wang et al., 1994). جداسازی یکی از بخش‌های مهم در مجموعه بوجاری و فرآوری دانه‌های گیاهی و بذر برای دستیابی به کیفیت بالایی محصولات و ارقام بذرهای اصلاح‌شده محسوب می‌شود. از آنجایی که جداسازی ناخالصی‌ها به روش‌های مکانیکی دشوار است، اتخاذ یک روش که بتواند با صرف انرژی کم، راندمان جداسازی بالایی داشته باشد و بذرها (بدون هیچ گونه ناخالصی و علف هرز) و محصولاتی با

خلوص بالا تولید کرد، از اهمیت بالایی برخوردار است (Delouche, Vaughan and 1967). یکی از محصولاتی که جداسازی آن از ناخالصی‌هایش دشوار می‌باشد و با روش‌های معمولی نمی‌توان محصول با خلوص بالا تولید کرد، خاکشیر می‌باشد. خاکشیر با نام علمی *Descurainia sophia*، از خانواده چلیپائی‌ان (شب بو) بوده و به صورت خودرو در اماکن غیرزراعی و نسبتاً مرطوب می‌روید. دانه خاکشیر، ریز و به رنگ زرد تیره یا قهوه‌ای روشن است و سطحی ناصاف به شکل بیضی کشیده دارد، یک رأس آن بریده و دارای حلقه‌ای قهوه‌ای رنگ و شفاف است (Bekhradi, 2004; Haji Sharifi, 2003). انواع مختلفی از ماشین‌های جداکننده بذر موجود است که یکی از آن‌ها روش الکترواستاتیکی می‌باشد (Vaughan and Delouche., 1967). جدایش الکترواستاتیکی روشی موثر در جداسازی مخلوط موادی است که از نظر ابعاد و جرم مشابه هم می‌باشند اما از نظر هدایت الکتریکی متفاوت هستند (Ralston., 1961; Bendimerad et al., 2013). جداسازی الکترواستاتیکی بر اساس جذب یا دفع متفاوت ذرات باردار در

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(Email: h.samimi@uok.ac.ir)

(*)-نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.79575

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید

باهنر کرمان

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان.

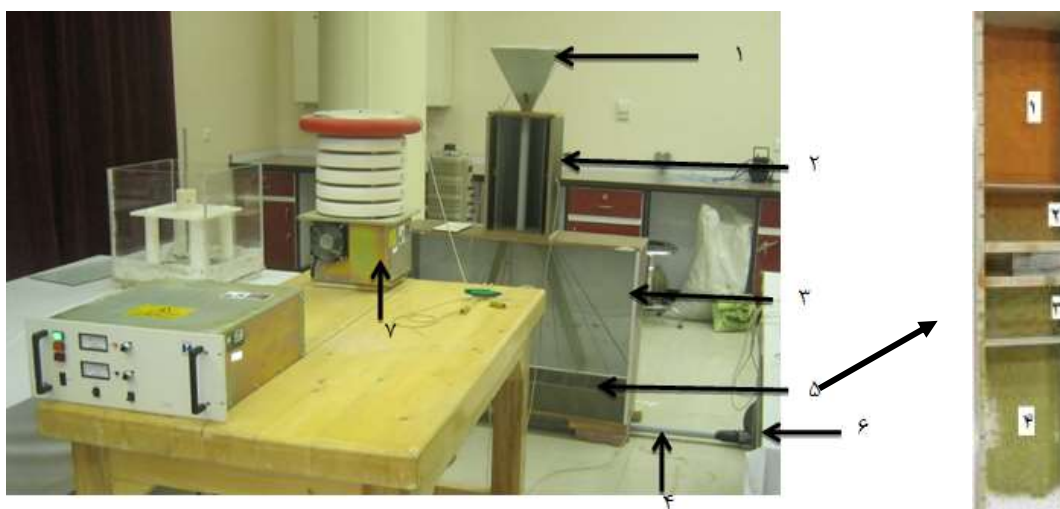
یک میدان الکتریکی بسیار قوی عمل می‌کند. به همین علت جداسازی الکترواستاتیکی را جداسازی تنش بالا نیز می‌نامند (Ralston, 1961). Lundahl (۲۰۰۱) یک جداکننده الکترواستاتیکی به‌منظور جداسازی کاه از دانه غلات ساخت که دارای یک تسمه عایق بود و مخلوط دانه و کاه از کنار یک الکتروود یونیزه عبور داده می‌شد. دانه‌ها به علت چگالی بالاتر، بیشتر تحت تأثیر نیروی وزن و ذرات کاه بیشتر تحت تأثیر نیروی میدان الکترواستاتیکی قرار می‌گرفتند. در نتیجه دانه‌ها تمایل به افتادن روی زمین داشتند و ذرات کاه جذب استوانه می‌شدند. با چرخش استوانه ذرات کاه توسط یک برس کنار زده و از استوانه جدا می‌شدند. در یک روش دیگر محققان با ساخت یک دستگاه جداساز الکترواستاتیکی، به تفکیک و بازیافت مخلوط مواد پلاستیکی پرداختند (Dodobia et al., 2008). Kawamoto و Umezu (۲۰۰۸) از مکانیزمی برای تغذیه کاغذ A4 دستگاه پرینتر و کیبی استفاده کردند که متشکل از یک الکتروود مدور پوشیده شده با لایه عایق، یک استوانه بارده به صورت مایل در تماس با غلتک جداساز برای باردار کردن لایه عایق، یک الکتروود متصل به زمین، منبع تغذیه با جریان مستقیم (DC) و بسته کاغذ بود. Bendimerad و Tilmatine (۲۰۰۹) از نیروی الکترواستاتیکی برای بازیافت زباله‌های پلاستیکی استفاده کردند و با استفاده از دستگاه جداسازی تریبوالکتریک آزمایشگاهی ساخته شده مطالعه تجربی بر روی دانه‌های حاوی ذرات پلی وینیل کلراید (PVC) و پلی اتیلن (PE) انجام دادند و تأثیر ولتاژ بالای استفاده شده را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد، این روش را می‌توان برای جداسازی انواع مختلف پلاستیک و حذف ناخالصی استفاده نمود. درجه خلوص به ولتاژ بالا وابسته می‌باشد. در تحقیقی که توسط Aksa و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد، تأثیر ولتاژ اعمالی برای بازیافت پلاستیک‌ها از ضایعات تجهیزات برق و الکترونیک بررسی شد، آنها به این نتیجه رسیدند، با افزایش ولتاژ اعمالی به الکترودها جرم و خلوص پلی کربنات (PC) افزایش و جرم و خلوص پلی آمید (PA) کاهش می‌یابد. در تحقیقی از یک سیستم شامل یک نوار نایلونی و یک پارچه ابریشمی جهت باردار شدن استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی نشان داد که با افزایش زمان جداسازی، کاهش فاصله نوار و افزایش سرعت نوار انتقال از ۵۰ تا ۶۰ دور بر دقیقه میزان جدایش کلاله زعفران از ناخالصی‌ها تا ۹۷ درصد افزایش یافت (Mortezapour et al., 2015). در مطالعه دیگر محققان از دستگاه تریبوایروالکتریک برای جداسازی آکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS) از دانه‌های زباله‌های الکتریکی و تجهیزات الکترونیک استفاده کردند. در این مقاله به بررسی درصدی مختلف مواد، تغییر در سرعت دمنده و ولتاژ مختلف بین ۱۶ تا ۳۶ کیلو ولت در جدایش به روش تریبوالکتریک پرداختند و این نتیجه

حاصل گردید که تمامی پارامترهای فوق در امر جداسازی مهم و تأثیر گذار هستند، به‌طوری که با افزایش سرعت دمنده و ولتاژ اعمالی درصد خلوص مواد جدا شده بیشتر می‌شود (Dascalescu et al., 2009). Aman و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی موقعیت و مکان الکتروود ولتاژ بالا به‌عنوان یک عامل موثر در جداسازی الکترو استاتیکی پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد با کاهش فاصله الکتروود متصل به ولتاژ بالا جدایش مواد با خلوص بالاتری صورت می‌پذیرد. Sun و Brosnan در مقاله خود خلاصه‌ای از تحقیقات انتشار یافته بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۳ در خصوص بررسی کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی با روش‌های پردازش تصویر ارائه دادند. Yanchao و Liming (۲۰۱۰) پردازش تصویر را برای درجه‌بندی توت‌فرنگی بر اساس رنگ، شکل و اندازه به‌کار بردند. آنها با به‌کارگیری سیستمی شامل یک نوار نقاله و دو عدد سنسور و همچنین دوربینی که بر روی سیستم نصب بود، پس از تبدیل تصاویر گرفته شده به فضای رنگی و استفاده از تابع K_maens توانستند به این مهم دست یابند. فتاحی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تکنیک پردازش تصویر میزان بادبردگی قطرات سم خارج شده از نازل‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند. تحقیقات بسیار کمی در مورد جدایش محصولات دانه‌ای ریز کشاورزی با استفاده از روش پرش لیزری و تحلیل رگرسیونی پارامترهای موثر بر جدایش محصول انجام شده است. جداسازی کامل دانه‌های خاکشیر به دلیل این که شکل‌هایی شبیه هم دارند به روش مکانیکی غیرممکن بوده و احتمال وارد شدن آسیب‌های فیزیکی توسط سیستم‌های مکانیکی وجود داشته و ظرفیت بسیار پایینی دارند. در این راستا، استفاده از روش‌های الکتروایرواستاتیک برای جداسازی این محصول می‌تواند موانع زیادی در فرآوری این محصول و ارائه آن در بازار از پیش پای کشاورز و تولید کننده بردارد. هدف از انجام این تحقیق بررسی دستگاه تریبوالکتریک جداکننده خاکشیر از نظر توانایی در جداسازی و تحلیل توزیع اندازه دانه‌های خاکشیر جدا شده توسط دستگاه تریبوایروالکتریک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دستگاه تریبوایروالکتریک

جداکننده تریبوایروالکتریک ساخته شده شامل: کیف یا مخزن تغذیه مواد، واحد باردارکننده مواد، واحد جداکننده، دمنده با لوله‌های انتقال هوا، واحد جمع‌آوری و منبع تغذیه متصل به الکترودها می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- طرح واره‌ای از اجزای تشکیل‌دهنده دستگاه (۱) قیف یا مخزن تغذیه (۲) واحد باردارکننده مواد (۳) واحد جداکننده (۴) لوله انتقال هوا (۵) واحد جمع‌آوری مواد (۶) دمنده (۷) منبع تغذیه کننده ولتاژ بالا.

OL 8000/104 تغییر می‌کند. از یک دمنده نیز برای معلق‌سازی مواد استفاده می‌گردد. در انتهای دستگاه نیز جعبه‌ای برای جمع‌آوری دانه‌های جداسازی شده و مواد ناخالص تعبیه شد.

روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها با خاکشیر (رقم سیسمبریم) جمع‌آوری شده از مزارع شهر ماهان در استان کرمان انجام گرفت. پس از جداکردن شاخ و برگ و غشای روی این دانه‌ها، از الک با مش ۱۶ عبور داده شدند. با انجام این عمل دانه‌های خاکشیر از برگ و ناخالصی‌های با اندازه بزرگ‌تر از ۱/۲ میلی‌متر شامل شن‌ریزه، شاخه، برگ و غشای روی دانه‌ها جدا می‌شوند. برای جدا کردن ناخالصی‌های باقی مانده به کمک دستگاه ساخته شده، نخست مواد اولیه با ترازوی آزمایشگاهی (کیا ۶۲۰۰، AHK) با دقت ۰/۱ گرم به نمونه‌های یک کیلوگرمی تقسیم شد. برای جلوگیری از تاثیر عوامل محیطی بر نمونه‌ها آنها را در بسته‌های پلاستیکی، به دور از رطوبت و نور در دمای اتاق نگهداری می‌شدند. تمام آزمایش‌ها در دستگاه خالص‌ساز خاکشیر ساخته شده در کارگاه گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت. در تمامی آزمایش‌ها سرعت دمنده هوا (۱۳۰۰۰ دور بر دقیقه)، نرخ تغذیه (۳/۱ گرم بر ثانیه) و رطوبت نسبی هوا ثابت (۲۱±۲٪ RH)، دمای هوای اتاق ۲۳±۱ درجه سلسیوس بود. برای به‌دست آوردن رطوبت محصول به مقدار ۱۰ گرم در سه تکرار در آون در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد (AOAC, 1984) رطوبت بر پایه خشک آن ۴/۵ درصد به‌دست آمد. نمونه‌ها از طریق قیف تغذیه درون دستگاه شارژ گردیدند. در قسمت بالایی دستگاه ضمن

قیف تغذیه‌کننده از جنس آهن گالوانیزه با مقطع مربعی با ابعاد ۳۰۰×۳۰۰ میلی‌متر و ارتفاع مخزن ۳۰۰ میلی‌متر است. دهانه خروجی به شکل مربعی به ابعاد ۷×۷ میلی‌متر می‌باشد. واحد تریوشارژ شامل محفظه‌ای به شکل مکعب مستطیل با ابعاد ۵۱۰×۳۵۰×۲۰۰ میلی‌متر که در دو وجه بالا و پایین آن چند شیار برای تغییر مکان الکترودها تعبیه شده است. این الکترودها از جنس آلومینیوم و با ابعاد ۵۰×۱۵۰ میلی‌متر می‌باشند. هدایت الکتریکی مطلوب آلومینیوم و خواص هدایت الکتریکی حجمی بهتر در مقایسه با فلزات دیگر و به خصوص مس، دلیل اصلی استفاده از آن در مصارف الکتریکی است (Kaufman, 2000). یک الکتروده به وسیله کابل ۴ میلی‌متری که از سوراخ‌های تعبیه شده در دو وجه چپ و راست عبور می‌کند. بر روی کلاهک HV Stack (قطب مثبت) و الکتروده دیگر به قطب منفی منبع تغذیه متصل شده است. یک لوله پلی‌اتیلن به ارتفاع ۵۰۰ میلی‌متر و قطر ۴۰ میلی‌متر برای عبور مواد و تریوشارژ آن‌ها، از مرکز این قسمت می‌گذرد. قسمت تحتانی دستگاه شامل محفظه‌ای به شکل مکعب مستطیل با ابعاد ۷۸۰×۲۱۰×۲۶۰ میلی‌متر می‌باشد و دیواره جلوی آن به‌منظور مشاهده فرآیند جداسازی از جنس شیشه انتخاب شد. دو الکتروده آلومینیومی با ابعاد ۶۰۰×۱۵۰ میلی‌متر نیز با لولا به وجه بالا متصل گردیده‌اند تا بتوانند زوایای مختلف به‌خود بگیرند، در صفحه پشتی آن خط‌هایی با زوایای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه به‌منظور مشاهده و تعیین زوایای این الکترودها رسم شده است. اتصال این الکترودها به منبع تغذیه ولتاژ بالا نیز مشابه واحد تریوشارژ می‌باشد. میدان الکتریکی با اعمال ولتاژ بر روی الکترودهای موجود در دستگاه ایجاد می‌گردد. شدت میدان الکتریکی با توجه به تغییر ولتاژ توسط منبع تغذیه مدل

نیز مشاهده شد (Kawamoto and Umezu, 2008). داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها با طرح بلوک کاملاً تصادفی، به‌وسیله برنامه SAS9.1.3 و MSTATC تجزیه و تحلیل گردیدند. برای مقایسه میانگین وزن مواد جعبه‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید. معادله رگرسیون چند متغیره غیرخطی برای پارامترهای تأثیرگذار بر وزن مواد جداسازی شده چهار جعبه جمع‌آوری مواد پیشنهاد شد (Eriksson *et al.*, 2000). برای فاکتورهای مطرح شده v و λ ، فاصله الکترودهای واحد تریوشارژ، b زاویه الکترودهای واحد جداساز و Y وزن مواد در هر جعبه می‌باشند (رابطه ۱). داده‌ها به وسیله استات گراف (STATGR ver.1.1) آنالیز شدند و پاسخ یا واکنش طراحی شده و بهترین تنظیم پارامترها برای فرآیند بهینه تشخیص و رسم می‌شوند. علاوه بر این مقدار ضریب تبیین R^2 برای هر جعبه تعیین شد.

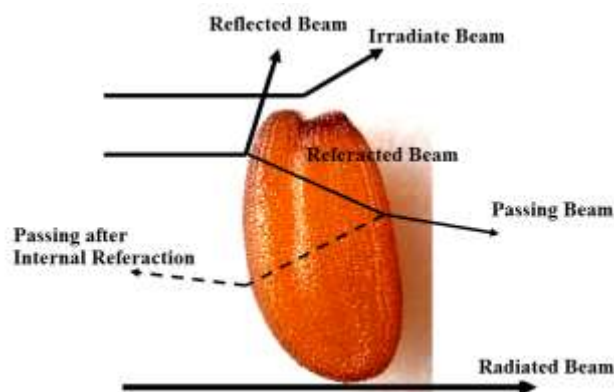
$$Y = a_0 + a_1 \times v + a_2 \times d + a_3 \times b + a_4 \times v^2 + a_5 \times d^2 + a_6 \times b^2 + a_7 \times v \times d + a_8 \times v \times b + a_9 \times d \times b \quad (1)$$

اندازه دانه‌های جدا شده، به روش پراش لیزری تعیین شد، و برای این منظور از دستگاه FRITSCH Laser Particle Size Analyser ANALYSETTE 22 NanoTec- که در شکل ۲ نشان داده شده است، استفاده گردید. استاندارد به کار برده شده در تعیین اندازه ذرات، ASTM. E1617 2009 می‌باشد. همچنین در این شکل چگونگی برخورد به پرتوهای لیزر به دانه خاکشیر و رفتار پرتوها پس از برخورد را نشان می‌دهد.

در ادامه نتایج حاصل از دستگاه پراش لیزری برای جعبه شماره ۱ به صورت نموداری استخراج شده و میزان توزیع شدت پراکندگی برای هر جعبه به وسیله نمودار ارائه و بحث شده است.



سقوط از درون لوله PVC از میان دو الکتروود متصل به منبع ولتاژ بالا باردار شده (تریووالکتریک و بمباران یونی) سپس در طبقه پایین خاکشیر تحت ترکیبی از نیروهای گرانش و نیروی الکترواستاتیک از ناخالصی جدا می‌شد. آنالیز خلوص مواد جدا شده در جعبه شماره ۱ تا ۴ (شکل ۱) با توجه به این که دانه‌ها و ناخالصی‌ها رنگ‌های مختلفی داشتند با استفاده از برنامه پردازش تصویر در MATLAB 6.5 صورت گرفت. برای این کار نمونه‌های ۳ گرمی از محصول جدا شده بر روی یک سطح سفید ریخته شده (طوری که روی هم قرار نگیرند) و تصویربرداری از آن صورت گرفت. میزان خلوص به‌دست آمده از این روش و روش وزنی با هم مقایسه شده و درصد بر این اساس برای آزمایش‌های دیگر با استفاده از روش پردازش تصویر می‌آمد. آنالیز عکس‌های مواد دانه‌ای جمع‌آوری شده در یکی از تقسیم‌های چهارگانه (شکل ۱) انجام شد. در این برنامه از تابع (k-means) استفاده شد. محاسبه عددی و برآورد شماره پیکسل‌ها مطابق هر رنگ انجام شد به‌طوری که نرخ بین عدد دانه‌های خاکشیر و ناخالصی‌ها تعیین شد. جرم مواد جدا شده در هر کدام از ۴ قسمت جعبه جمع‌آوری توسط ترازوی آزمایشگاهی و با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. آزمایش با سه فاکتور ولتاژ اعمالی به الکتروودها در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوولت، فاصله الکترودهای واحد تریوشارژ در سه سطح ۹، ۱۵ و ۲۱ سانتی‌متر و زاویه الکترودهای واحد جداساز در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه صورت گرفت. سطوح اشاره شده بر اساس مقادیر تأثیرگذاری بر روی جدایش تعیین شدند. بیش از صد آزمایش اولیه برای تعیین این سطوح انجام گرفت و نتایج اولیه نشان داد در سطوح کمتر از مقادیر تعیین شده و بیشتر از آن یا بر روی جدایش تأثیری نداشته و یا باعث ایجاد جرقه بین صفحات می‌گردید. برای نمونه برای ولتاژ مقادیر کمتر از ۲۰ کیلوولت، برای فاصله بیشتر از ۲۱ سانتی‌متر و برای درجه بیشتر از ۴۰ درجه، جدایش دانه‌های خاکشیر یا به سختی و یا اصلاً جدایش صورت نمی‌گرفت. همین روند در سطوح انتخاب شده در تحقیقات دیگر

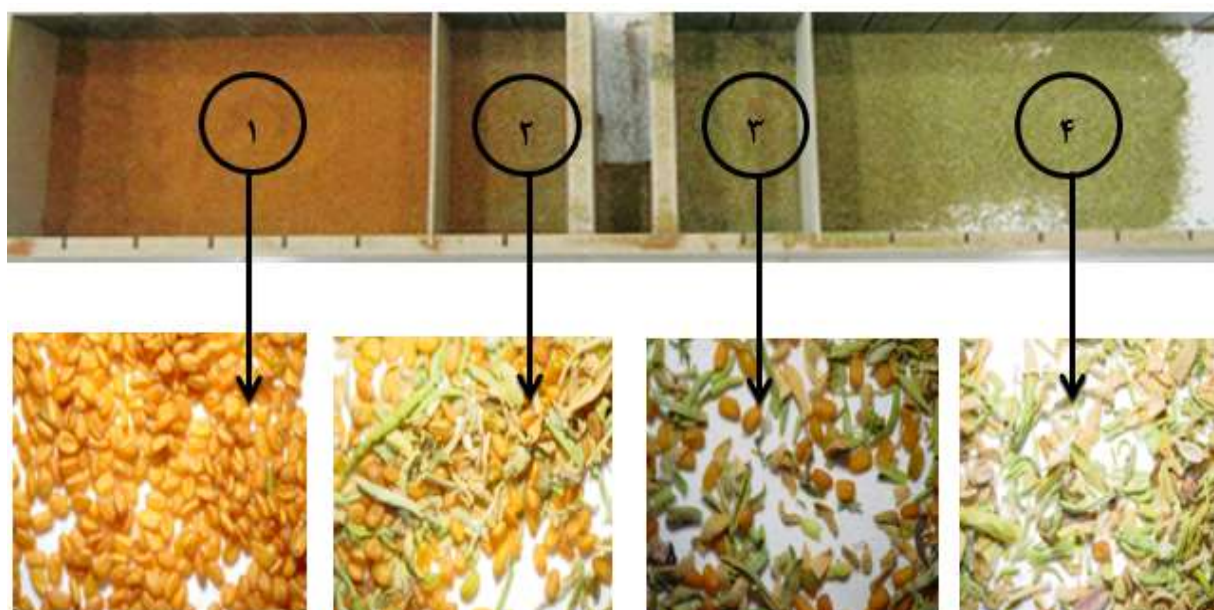


شکل ۲- دستگاه اندازه‌گیری ذرات به روش پراش لیزری و چگونگی برخورد پرتوها به دانه خاکشیر

نتایج و بحث

مخلوط محصول می‌باشد (شکل ۳). برای تعیین درصد خلوص، دانه‌های خاکشیر از ناخالصی‌ها جدا شده و پس از توزین ناخالصی‌ها و دانه‌های خاکشیر، میزان خلوص هر جعبه به دست می‌آمد. محاسبات مربوط به خلوص در هر بار تکرار آزمایش نشان داد، میانگین درصد خلوص مواد جعبه شماره ۱ بالای ۹۸٪، جعبه شماره ۲ بین ۶۵٪ تا ۷۵٪، جعبه شماره ۳ بین ۳۰٪ تا ۵۰٪ و میانگین درصد خلوص مواد جعبه شماره ۴ کمتر از ۶٪ است. با توجه به این که هدف در ساخت این دستگاه رسیدن به خلوص بالای خاکشیر است، لذا در ادامه به طور مفصل تر در خصوص جعبه شماره ۱ با حداکثر خلوص و جعبه شماره ۴ با حداکثر ناخالصی نسبت به سایر جعبه‌ها بحث می‌شود.

قطبش مواد بسته به موقعیت‌شان در واحد تریبو الکتریک متفاوت می‌باشد. در این پژوهش مشخص گردید، دانه‌های خاکشیر بار منفی به خود گرفته و به سمت الکتروود مثبت واحد جداساز دستگاه حرکت می‌کنند، سپس تحت نیروی گرانش درون جعبه جمع‌آوری سقوط می‌نمایند. ناخالصی‌های موجود (شامل شن‌ریزه، شاخه، برگ و غشای روی دانه‌ها)، بار مثبت می‌گیرند و به سمت الکتروود منفی دستگاه متمایل می‌شوند (Wang et al., 1994 و Ralstone, 1961). محفظه انتهایی نزدیک به الکتروود مثبت برای محصول خالص و محفظه انتهایی برای نزدیک به الکتروود منفی برای ناخالصی‌ها و دو محفظه میانی برای



شکل ۳- تقسیم‌بندی جعبه جمع‌آوری و تصویر مواد در بزرگ‌نمایی ۲۰ برابر (۱) محصول خالص ۲ و ۳) مخلوط دانه‌های خاکشیر و ناخالصی (۴) ناخالصی.

نتایج مقایسه بین سه ولتاژ با آزمون چنددامنه‌ای دانکن برای جعبه شماره ۱ نشان داد که با افزایش ولتاژ، کاهش فاصله و افزایش درجه میزان وزن خاکشیر با خلوص بالا افزایش می‌یابد. این ولتاژها دارای اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ می‌باشند (جدول ۲). در مورد جعبه شماره ۴ نیز همان نتایج ملاحظه شد. با این تفاوت که بین ولتاژهای ۳۰ و ۴۰ کیلوولت اختلاف معنی دار نمی‌باشد که این نتیجه می‌تواند در کاهش توان استفاده شده برای جدا سازی مواد خاکشیر مورد توجه قرار گیرد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها برای دو جعبه ۱ و ۴ که مهم‌ترین جعبه‌های مورد بحث برای جدایش محصول می‌باشند، در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس وزن مواد در جعبه شماره ۱ به عنوان تابعی از ولتاژ اعمالی به الکتروودها، فاصله دو الکتروود واحد تریبوشارژ و زاویه دو الکتروود جداساز نشان داد تمامی اثرات ساده، دوگانه و سه‌گانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار می‌باشند. اما در مورد جعبه شماره ۴، اثرات ساده و سه‌گانه و اثر متقابل فاصله الکتروودها در واحد شارژ کننده و زاویه الکتروودها در واحد جداساز در سطح ۱ درصد معنی دار است. اثرات متقابل دوگانه به غیر از اثر متقابل اشاره شده معنی دار نمی‌باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس فاکتورهای موثر بر وزن مواد جعبه شماره ۱ و ۴

شماره جعبه	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	P> F
جعبه شماره ۱	تکرار	۲	۶۰/۲۵	۱/۶۹ ^{n.s}
	ولتاژ	۲	۱۸۰۳۴/۳۷	۵۰۵/۶۰ ^{**}
	فاصله	۲	۳۶۹۳۱/۵۶	۱۰۳/۳۸ ^{**}
	زاویه	۲	۶۸۴۷۷/۷۷	۱۹۱/۷۸ ^{**}
	ولتاژ* فاصله	۴	۴۱۵/۶۲	۱۱/۶۵ ^{**}
	ولتاژ* زاویه	۴	۳۸۰۵/۱۴	۱۰۶/۶۸ ^{**}
	فاصله* زاویه	۴	۶۶۴/۰۹	۱۸۶/۸۳ ^{**}
	ولتاژ* فاصله* زاویه	۸	۳۰۰۸/۴۶	۸۴/۳۶ ^{**}
	تکرار	۲	۱۳/۴۸	۱/۳۲ ^{n.s}
	ولتاژ	۲	۶۶۸/۴۸	۶۵/۵۴ ^{**}
جعبه شماره ۴	فاصله	۲	۱۴۱۹/۴۴	۱۴۶/۳ ^{**}
	زاویه	۲	۲۸۱۴/۱۱	۲۷۵/۹۱ ^{**}
	ولتاژ* فاصله	۴	۱۲/۴۸	۱/۲۲ ^{n.s}
	ولتاژ* زاویه	۴	۱۱/۸۱	۱/۱۶ ^{n.s}
	فاصله* زاویه	۴	۱۵۲/۲۲	۱۴/۹۲ ^{**}
	ولتاژ* فاصله* زاویه	۸	۸۰/۰۰	۷/۸۴ ^{**}

** اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و n.s نبود اختلاف معنی دار.

جدول ۲- میانگین وزن مواد موجود در جعبه های ۱ و ۴ مربوط به متغیرهای اندازه گیری شده (ولتاژ اعمالی، فاصله الکتروود و زاویه الکتروود) برای دستگاه تریوشارژ

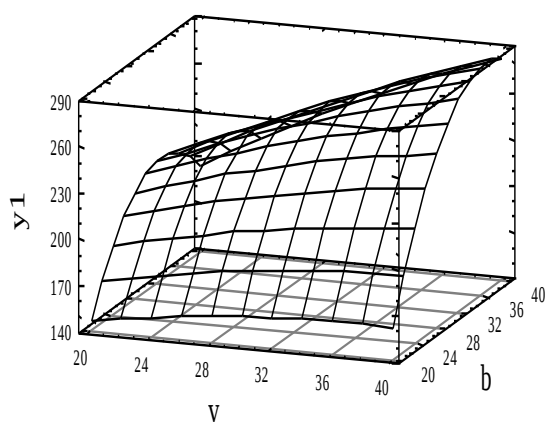
میانگین وزن (g)	ولتاژ (kV)			فاصله (cm)					زاویه (درجه)		
	۲۰	۳۰	۴۰	۹	۱۵	۲۱	۲۰	۳۰	۴۰	۲۰	۳۰
جعبه شماره ۱	۱۹۱/۴۱ ^c	۲۲۱/۷۸ ^b	۲۴۲/۸۱ ^a	۲۵۷/۷۹ ^a	۲۱۳/۹۶ ^b	۱۸۴/۲۶ ^c	۱۶۰/۵۲ ^b	۲۴۸/۲۹ ^a	۲۴۷/۱۸ ^a		
جعبه شماره ۴	۸۱/۶۷ ^b	۹۰/۰۷ ^a	۹۰/۴۸ ^a	۹۵/۵۶ ^a	۸۵/۶۷ ^b	۸۱/۰۰ ^c	۷۶/۷۰ ^c	۸۸/۴۸ ^b	۹۷/۰۴ ^a		

فاصله الکتروودهای واحد تریوشارژ وزن مواد این جعبه با خلوص بیش از ۹۸ درصد افزایش می یابد. با افزایش ولتاژ اعمالی به الکتروودهای هر دو واحد تریوشارژ و جداساز، مواد اولیه درون میدان الکتریکی قوی تر قرار می گرفتند. قرارگیری این مواد در میدان الکتریکی قوی تر، باعث جذب بیشتر دانه ها توسط الکتروود منفی بیشتر توسط دانه های خاکشیر می گردد. این نتیجه گیری با نتایج Dascalescu و همکاران (۲۰۰۹) برای جداسازی تریوایروالکترواستاتیک ABS و ABS-PC از دانه های زباله های الکتریکی و تجهیزات الکترونیک، Tilmatine و Bendimerad (۲۰۰۹) در زمینه بازیافت تریووالکترواستاتیک پلاستیک ها و Aksa و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر ولتاژ اعمالی برای بازیافت پلاستیک ها از ضایعات تجهیزات برق و الکترونیک مطابقت

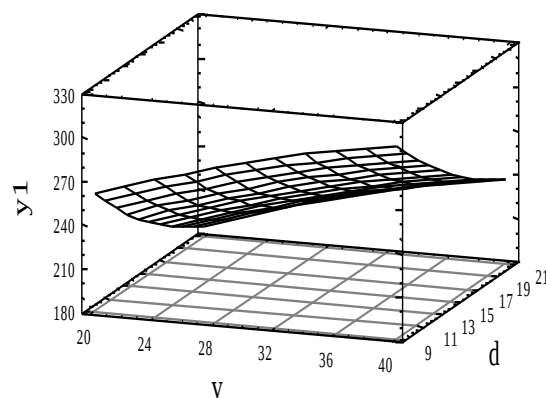
معادله رگرسیون چند متغیره غیرخطی برای پارامترهای تاثیرگذار بر وزن مواد جعبه شماره ۱ به دست آمد (رابطه ۱). برای این کار مقادیر میانگین آزمون چند دامنه ای دانکن به دست آمده در جدول هایی تنظیم شده و سپس اثرات متقابل به صورت نمودار ترسیم شده و معادله مورد نظر بر روی آن برازش می شود. مقدار ضریب تبیین R^2 برای وزن جعبه شماره ۱ برابر ۹۰ درصد بود و این مقدار نشان می دهد، پارامترهای مورد بررسی ۹۰ درصد از وزن جعبه شماره ۱ را برازش می کنند. مطابق معادله ۱ وزن جعبه شماره ۱ به صورت معادله درجه دو با سه پارامتر بیان شده ارتباط دارد و با توجه به مثبت بودن ضرایب b و vb و منفی بودن ضریب db در این معادله موید این مطلب است که با افزایش ولتاژ اعمالی به الکتروودها، افزایش زاویه الکتروودهای واحد جداساز و کاهش

$$Y_1 = -289/73 + 31/89b - 0.05v^2 + 0.22d^2 - 0.44b^2 + 0.18vb - 0.43db \quad (2)$$

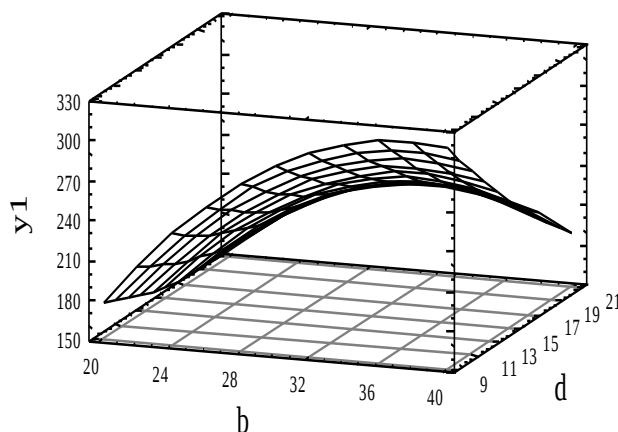
برای تصور کردن اثر متقابل فاکتورها بر روی وزن مواد جدا شده، نمودارهای سه بعدی بر اساس دو متغیر و ثابت نگهداشتن متغیر سوم ارائه شدند. افزایش ولتاژ در کاهش فاصله موجب بالا رفتن سریع وزن مواد در این خانه می‌شود، زیرا هر دو عامل باعث افزایش میدان الکترواستاتیکی می‌شوند (شکل ۴-ا). اثر متقابل ولتاژ در زاویه شکل ۴-ب نشان می‌دهد، افزایش زاویه در ولتاژهای بالاتر وزن مواد را با شیبی تندتر افزایش می‌دهد. بررسی مقایسه اثر متقابل دو فاکتور فاصله در زاویه نشان داد، هر چه فاصله کمتر شود افزایش زاویه باعث افزایش وزن خاکشیر با خلوص بالا در جعبه شماره ۱ می‌شود (شکل ۴-ج).



a



b



c

شکل ۴- وزن خاکشیر در جعبه شماره ۱ بر حسب v ولتاژ (کیلوولت)، d فاصله الکترودهای واحد تریبوشارژ (سانتی‌متر) و b زاویه الکترودهای واحد جداساز (درجه).

زاویه الکترودهای واحد جداساز کاهش یافته و با افزایش فاصله الکترودهای واحد تریبوشارژ، افزایش می‌یابد (رابطه ۳).

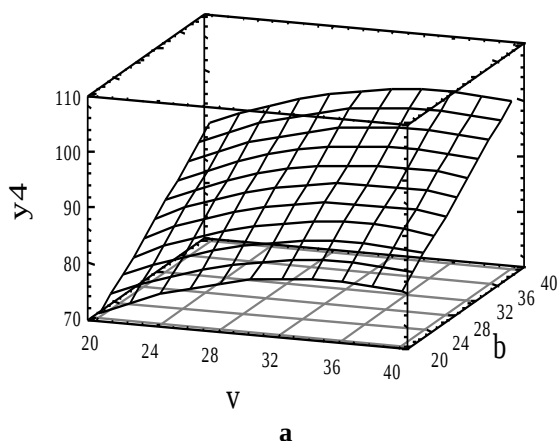
مقدار ضریب تبیین R^2 برای جعبه شماره ۲ برابر ۸۹ درصد به دست آمد، همچنین رابطه ۳ نشان می‌دهد، با توجه به منفی بودن ضرایب v و b و مثبت بودن ضریب d ، وزن مواد در این جعبه با افزایش ولتاژ و

دارد. با کاهش فاصله الکترودها وزن خاکشیر با خلوص بالا در جعبه شماره ۱ به صورت خطی افزایش می‌یابد، چون نیروی وارده به یک جسم در حالت سقوط با فاصله الکترودهای واحد تریبوشارژ رابطه عکس دارد. Aman و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی موقعیت و مکان الکترودها به عنوان یک عامل موثر در جداسازی الکترواستاتیکی پرداختند، نتایج آن‌ها با یافته‌های این تحقیق در خصوص اثر فاصله الکترودها بر مقدار جداسازی هم‌سو است. با افزایش زاویه بین الکترودهای واحد جداساز، هدایت خاکشیرهای با بار منفی به سمت الکترو مثبت این واحد باعث می‌گردد، خاکشیرهای باردار شده در طول سقوط به طور پیوسته تمایل به جذب به سمت الکترو مثبت را داشته باشند، بنابراین در فاصله بیشتری از مرکز سقوط می‌کنند. این توصیف در رابطه ۲ مشهود است.

ضریب b مثبت است در نتیجه با افزایش فاصله الکترودهای واحد تریبوشارژ و کاهش زاویه الکترودهای واحد جداساز وزن مواد در این جعبه کاهش می‌یابد این نتیجه‌گیری با نتایج Dascalescu و همکاران (۲۰۰۹)، Aksa و همکاران (۲۰۱۳) و Tilmatine و Bendimerad (۲۰۰۹) مطابقت دارد.

$$Y_7 = 2/92 + 2/84v + 2/06b - 0/04v^2 + 0/03d^2 - 0/07db \quad (5)$$

در ولتاژهای بالاتر با کاهش فاصله وزن ناخالصی‌های موجود در این خانه افزایش می‌یابد (شکل ۵-ا). در تاثیر هم‌افزایی ولتاژ در زاویه همان‌گونه که در شکل ۵-ب مشاهده می‌شود افزایش وزن مواد قابل توجه می‌باشد. همچنین در زوایای بالاتر با کاهش فاصله وزن مواد افزایش پیدا می‌کند (شکل ۵-ج).

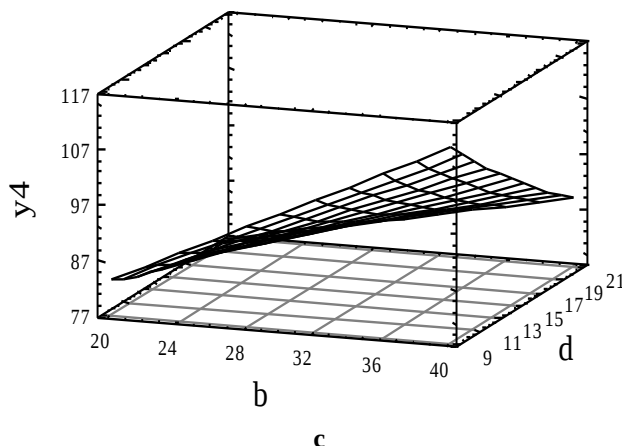
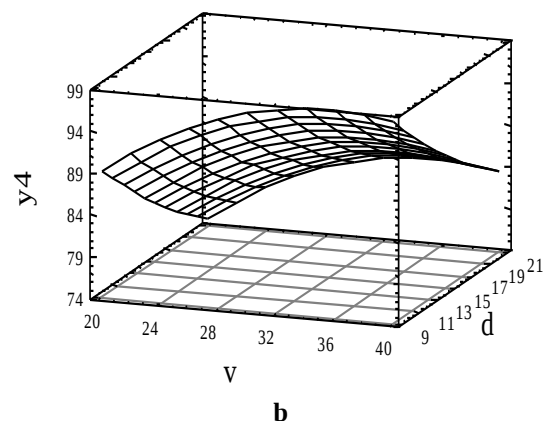


$$Y_7 = 558/85 - 10/94v + 54/13d - 28/58b + 0/15v^2 - 1/44d^2 - 0/41b^2 \quad (3)$$

مقدار R^2 در جعبه شماره ۳ برابر ۷۵ درصد به دست آمد. مطابق رابطه ۴ وزن جعبه شماره ۳ به صورت معادله درجه دو با سه پارامتر بیان شده ارتباط دارد و نشان می‌دهد، با افزایش ولتاژ، کاهش فاصله الکترودهای واحد تریبوشارژ و کاهش زاویه الکترودهای واحد جداساز وزن مواد در این جعبه افزایش می‌یابد (رابطه ۴).

$$Y_7 = 637/85 + 7/09v - 51/66d + 1/17d^2 - 0/27vb + 0/43db \quad (4)$$

مقدار R^2 در جعبه شماره ۴ مساوی با ۸۷ درصد شد و با توجه به مثبت بودن ضرایب v و b در رابطه ۵ مشخص است، وزن این جعبه با افزایش ولتاژ اعمالی به الکترودهای واحد تریبوشارژ و زاویه الکترودهای واحد جداکننده افزایش می‌یابد. با توجه به منفی بودن ضریب db چون

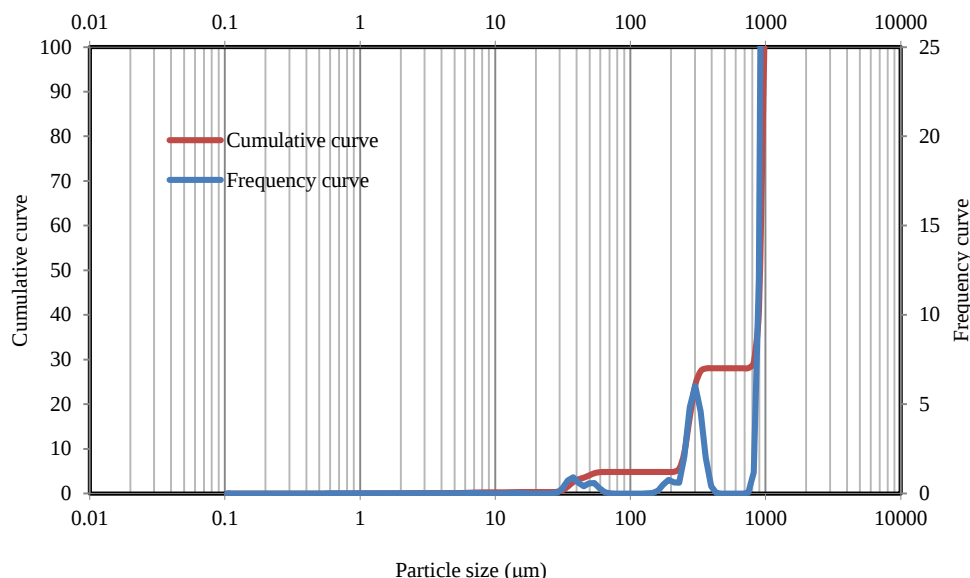


شکل ۵- وزن مواد جعبه شماره ۴ بر حسب v ولتاژ (کیلو ولت)، d فاصله الکترودهای واحد تریبوشارژ (سانتی‌متر) و b زاویه الکترودهای واحد جداساز (درجه).

اندازه ذرات را از یک صدم میکرومتر تا ۱۰ میلی‌متر را گزارش می‌نماید. برای این کار ذرات جدا شده موجود (فقط شامل خاکشیر خالص) در جعبه شماره ۱ در درون دستگاه پراش لیزری قرار گرفته و چگونگی

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل ذرات جدا شده خاکشیر با استفاده از دستگاه پراش لیزری برای جعبه شماره ۱ که محصول جدا شده با بیشترین خلوص در آن وجود دارد، در شکل ۶ آمده است. این دستگاه

است. قله دوم و سوم نشان‌دهنده اندازه دانه‌های (بیضوی شکل) خاکشیر می‌باشد. در این جعبه ذرات با اندازه کمتر از ۰/۴۴۶ میکرومتر وجود ندارد، ۴/۸۹ درصد مواد در این جعبه میانگین اندازه بین صفر تا ۲۱۰ میکرومتر، ۲۳/۱۸ درصد بین ۲۱۰ تا ۶۸۰ میکرومتر و ۷۱/۹۳ درصد اندازه ای بین ۶۸۰ تا ۹۸۰ میکرومتر دارند.



شکل ۶- اندازه ذرات جعبه شماره ۱ بر حسب فراوانی نسبی و تجمعی

جداسازی انواع مختلف خاکشیر با خلوص بالای ۹۸ درصد، راندمان بالا و درجه‌بندی آن‌ها بوده و می‌تواند جایگزین روش‌های معمول جداسازی گردد. همچنین مشخص شد، بیشترین ضریب تبیین به میزان ۹۰ درصد برای جعبه شماره ۱ می‌باشد و با حرکت به سمت جعبه شماره ۴ این ضریب کاهش می‌یابد. میزان ولتاژ اعمال شده به سر الکترودها و زاویه الکترودها تاثیر مستقیم بر میزان خلوص مواد جدا شده داشته است. این در حالی است که اثر فاصله الکترودها معکوس می‌باشد. با استفاده از دستگاه پراش لیزری، تجزیه و تحلیل بر روی ذرات جدا شده خاکشیر به وسیله سامانه تریبواپروالکترواستاتیک که درصد خلوص بالایی داشتند، صورت گرفت. نتایج نشان داد، دانه‌های با ابعاد بزرگتر در فاصله دور از قسمت مرکزی تریبواپروالکترواستاتیک قرار می‌گیرند و با نزدیک شدن به قسمت مرکزی علاوه بر افزایش میزان ناخالصی میزان فراوانی ذرات با ابعاد کوچکتر نیز افزایش می‌یابد. با توجه به دقت جدایش دانه های خاکشیر به جرات می‌توان اظهار نمود که از دستگاه تریبواپروالکترواستاتیک ساخته شده با تغییرات جزئی برای جدایش و خالص سازی محصولات ریز مثل یونجه و شبدر استفاده نمود.

توزیع دانه‌ها بر اساس ابعاد در این جعبه به‌دست آمد. نتایج نشان داد اندازه دانه‌های خاکشیر با حرکت به سمت جعبه شماره ۴ کاهش پیدا می‌کرد. به عبارت دیگر جعبه شماره ۱ دارای دانه‌های خاکشیر با ابعاد بزرگتر بودند. در شکل ۶ بر حسب فراوانی نسبی، سه قله (پیک) مشاهده می‌گردد، قله اول مربوط به ذرات بسیار ریز دانه‌های خاکشیر

با توجه به شکل ۶ محدوده ۶۸۰-۹۸۰ میکرومتر در این جعبه بیشترین میزان را نسبت به جعبه‌های دیگر به خود اختصاص داده است. این امر نشان دهنده آن است که دانه‌های موجود در جعبه ۱ به‌خوبی باردار شده و با توجه به رابطه $F_e = qE = 4\pi r^2 \sigma E$ دانه‌های با ابعاد بزرگتر در هنگام باردار شدن در واحد تریبوشاژ، بار منفی بیشتری گرفته و در نتیجه انحراف این دانه‌ها به سمت الکتروده مثبت بیشتر است و در هنگام سقوط در فاصله بیشتری از مرکز جعبه جمع‌آوری مواد سقوط می‌نمایند (جعبه شماره ۱). این نتیجه با نتایج بدست آمده از مطالعات محققان دیگر در مورد سیوس گندم (Chen et al., 2014)، جدایش مواد غیر استاندارد از مواد دارویی (Naik et al., 2016)، جدایش مواد پودر شده فلزی (Trigwell, 2003)، مواد پودری صنعتی (Cross et al., 1981) مطابقت دارد. بنابراین می‌توان ادعا نمود که با استفاده از این دستگاه، میزان خلوص خاکشیر تولیدی تا بالای ۹۹/۵ می‌تواند افزایش یابد، هرچند میزان تولید احتمالاً کاهش یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها در فرآیند جداسازی تریبواپروالکترواستاتیک مخلوط خاکشیر همراه با ناخالصی نشان داد این روش، راه‌حلی مناسب برای

منابع

- Aksa, W., Medles K., Rezug, M., Boukhoulda, M. F., Bilici, M., and L. Dascalescu. 2013. Two Stage Electrostatic Separator for the Recycling of Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. *Journal of Electrostatic* 71(4): 681-688.
- Aman, F., Morar, R., Kohnlechner, R., Samuila, A., and L. Dascalescu. 2004. High-voltage electrode position: a key factor of electrostatic separation efficiency. *Journal of IEEE Transactions on Industry Applications* 40(3): 905 – 910.
- AOAC (1984): Ofcial Methods of Analysis. Washington, DC, *Association of Ofcial Analytical Chemists Press*.
- Bekhradi, R. 2004. The new treatment plant. Press interpreter. *Kashan*. Page 23.
- Bendimerad, S. E., Tilmatine, A., Karim-Medles, K., Miloudi, M., Brahami, Y., and L. Dascalescu. 2013. Robustness testing of a free-fall triboelectric separation process for plastic waste recovery. *Journal of Sustainable Engineering* 7(4): 284-292.
- Brosnan, T., and D. W. Sun. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision. *Journal of Food Engineering* 61: 3–16.
- Chen, Z., Liu, F., Wang, L., Li, Y., Wang, R., and Z. Chen. 2014. Tribocharging properties of wheat bran fragments in air–solid pipe flow. *Food Research International* 62: 262-271.
- Cross, J. A., Mumford-van Urk, H., and S.Singh. 1981. Some experiments in powdercharging and its significance to industrial processes. *Journal of Electrostatic* 10: 235-243 .
- Dascalescu, L., Fati,O., Dragan, C., Radu, M., Calin, L., and A. Samuila. 2009. Tribo-aero-electrostatic Separation of ABS and ABS-PC from Granular *Waste Electric and Electronic Equipment. France*.
- Dodobia, G., Shibayama, A., Miyazaki, T., and T. Fujita. 2001. Electrostatic Separation of the shredded plastic mixture using a tribo-cyclone. *Magnetic and Electrical Separation*, 11(2): 63-92.
- Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold N., Wikström, C., and S. Wold. 2000. Design of Experiments. Principles and Applications. *Learnways AB. Stockholm*.
- Fattahi, S.H., Abdollahpour, S., Esmaeilzadeh, E., and M. Moghaddam-Vahed. 2014. Presentation and evaluation of an experimental model for winding nozzles in a wind tunnel with the image processing aided. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 4(2): 274-266.
- Haji Sharifi, A. 2003. secrets of herbal medicines. Gulshan publications. Tehran. Page 44.
- Kawamoto, H., and S. Umezu. 2008. Some techniques on electrostatic separation of particle size utilizing electrostatic traveling-wave field. *Journal of electrostatic* 66(3-4): 220-228.
- Kaufman, J. G. 2000. Introduction to Aluminum Alloys and Tempers. ASM International,. ISBN 0-87170-689-X.
- Liming, X. and Z. Yanchao. 2010. Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture* 71: 32–39
- Lundahl, E. 2001. Electrostatic Separation of Chaff from Grain. US Patent, us 6225587B1.
- Mortezapour, M., Moshiri-Rad, S., and M. Ekhbari. 2015. Investigating the possibility of separating impurities from saffron straw by using an electrostatic separator, *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 5(1): 44-51.
- Naik, S., Hancock, B., Abramov, Y., Weili, Y., Rowland, M., Huang, Z., and B. Chudhuri. 2016. Quantification of Tribocharging of Pharmaceutical Powders in V-Blenders: Experiments, Multiscale Modeling, and Simulations. *Journal of Pharmaceutical Sciences* 105: 1467-1477.
- Ralston, O. C. 1961. Electrostatic Separation of Mixed Granular Solids. Elsevier. Amsterdam.
- Tilmatine, A., and S. Bendimerad. 2009. Plastic wastes recovery using electrostatic forces. *Front. Electr. Electron. Eng. China* 4(4): 446 – 450.
- Trigwell, S. 2003. Correlation between surface structure and tribocharging of powders. Doctoral dissertation, University of Arkansas at Little Rock, USA.
- Vaughan, C., and J. Delouche. 1967. Seed Processing and Handling. Missouri Agricultural press. Handbook, Mississippi State University, USA.
- Wang, Y., Chung, D., Spillman, C., Eckhoff, S., Rhee, C., and H. Converse. 1994. Evaluation of laboratory grain cleaning and separating equipment-part I. *Trans. ASABE*. 37(2), 507 - 513.



Separation the Impurities from *Descurainia* Seed using Electrostatic Method in a Fluid Bed (Tribo-airo-electrostatic)

M. Afsharipour¹, H. Samimi Akhijahani^{2*}, K. Jafari Naeimi³

Received: 2019.03.06

Accepted: 2020.02.12

Introduction: The presence of various impurities leads to the problems in storage time, transmission, selling and consumption process of any product. Thus it is necessary to separate the impurities from the product for industrial processing. *Descurainia Sophia* is a tiny grain seed in light brown color with elliptical shape and it grown up in humid climate. Electrostatic method is a proper way for separation and purification of materials which is based on the absorption and diffusion of charged particles in an electrical field with high voltage. An experimental research was carried out for recycling the plastic waste with tribo-electric system. The result of the research on plastic separation of waste materials showed that by increasing the voltage of the system the purification fold increases. The results of the effect of the applied voltage for recycling the plastic particles showed that by increasing the applied voltage in the electrodes the mass and purity of the polycarbonate (PC) increased and the mass and purity of polyamide (PA) decreased. There is a little information about separation and purification of fine grain seeds and this study is about separating of *Descurainia Sophia* seed and the effect of the parameters using regression analysis.

Material and Methods: *Descurainia* seed samples were collected from the farms located in Mahan city of Kerman province, Iran. Tribo-airo-electrostatic system contains of funnel and feeding container, the charger unit, the separating unit, air transmission channels and gathering unit. Charging unit consists of two aluminum electrode connected to a high voltage DC power supply adjustable between 0-100 kV. A blower was used to suspend material and increase the exposure time of particles in the electric field. The gathering is a box with different partitions divided by wooden sheets. Separated particles fall in the gaps based on the amounts of charges, weight and shape. The separating process takes place by considering physical properties. There are two important forces that acts on the falling of the object in electric field; the electric force acts in the horizontal direction, gravitational force acts in the vertical direction. Considering the purity of the separated seeds in the box, only four sections of the box were selected for size and frequency analysis. For obtaining gathered seed impurity, the digital pictures of the gathered samples imported in Matlab6.5 software and were analyzed using Image processing toolbar based on the differences between seed and impurity color. For regression analysis of the parameters voltage in the electrodes, the distance of the electrodes, the angle of the electrode and the mass of the boxes was considered. Laser diffraction method used for determination the size of separated particles and for this purpose FRITSCH Laser Particle Size Analyser -ANALYSETTE 22 NanoTec system was used.

Results and discussion: The results illustrated that the *Descurainia* seed takes negative charge and moves to the positive electrode and impure particles takes positive charge and moves to the negative electrode. The purity calculations of the experiments showed that the average percentage of box No.1 is more than 98%, box No.2 is between 65%-75%, box No.3 is between 30% to 50% and box No.4 is less than 50%. The values of correlation coefficient of the effective parameters for box No.1 was 90% and this means that 90% of the parameters of equation affected on the weight of the box No.1 for about 90%. By increasing the applied voltage and the angle of the electrodes of the separating unit and decreasing the distance of the electrodes, the purity of box increases. The size analysis of *Descurainia* seed showed that the particles with larger dimensions take more negative charge and moves to negative electrode. The results of the study showed that tribo-airo-electrostatic system separated *Descurainia* seed from waste particles properly. By considering the optimum value of separating parameters the purification increased by 98%. According to the results it can be stated that this system can be used for separation and purification of small grains such as alfalfa and clover.

Keywords: Image processing, Tribo-airo-electrostatic, Purification, Correlation coefficient, High voltage.

1 and 3. Former MSc Student and Assistance Professor, Department of Mechanics of Biosystem Engineering Shahid bahonar University of Kerman.

2. Assistance Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Kurdistan.

(*Corresponding Author Email: h.samimi@uok.ac.ir)

مقاله پژوهشی

مقایسه ویژگی‌های تکنولوژیکی جدایه‌های حاصل از ماست سنتی خراسان با آغازگر تجاری در تولید ماست

فاطمه برمک^۱ - محمدباقر حبیبی نجفی^{۲*} - رضا حاجی محمدی فریمانی^۳ - محمدرضا عدالتیان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۸

چکیده

یکی از مهم‌ترین موارد در تولید ماست انتخاب آغازگر مناسب می‌باشد. جدایه‌های بومی هر کشوری جزء ذخایر ژنتیکی آن کشور محسوب می‌شوند که نقش عمده‌ای در تولید و ایجاد خواص ارگانولپتیکی محصولات تخمیری ایفا می‌کنند. بنابراین مطالعه در زمینه کاربرد صنعتی جدایه‌های بومی ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش تعیین خصوصیات رئولوژیکی، حسی و فیزیوشیمیایی ماست تولید شده توسط آغازگرهای بومی جدا شده از نمونه‌های ماست سنتی منطقه خراسان و مقایسه آن‌ها با ماست تولید شده توسط آغازگر تجاری بود. که با استفاده از ۶ سویه *استرپتوکوکوس سالواریس* زیرگونه *ترموفیلوس* استفاده از ۶ سویه ۳ سویه *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیرگونه *بولگاریکوس* ۱۸ نمونه ماست حاصل از شیر گاو در قالب آزمون فاکتوریل به صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار تولید شد و نمونه‌های تولیدی از نظر خصوصیات فیزیوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی مورد آنالیز قرار گرفتند، سپس با ماست تولید شده توسط آغازگر تجاری مقایسه شدند و با توجه به نتایج حاصله (اسیدیته، pH، درصد آب‌اندازی، زمان تخمیر، ویژگی‌های بافتی و ویژگی‌های حسی)، به انتخاب نمونه‌های ماست برتر در مقایسه با سایر نمونه‌ها و ماست تجاری اقدام شد و در نهایت با توجه به رفتار پروتئولیتیک سویه‌های *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* و سرعت تولید اسید توسط سویه‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و همچنین تولیدگاما آمینوبوتیریک اسید توسط سویه‌های مذکور، ۵ نمونه ماست تولید شده با استفاده از ترکیب آغازگرهای بومی با کدهای S_4b_2 , S_6b_2 , S_5b_1 , S_2b_2 , S_1b_1 انتخاب شدند که ترکیب‌های نام برده جهت تولید ماست فراسودمند در صنعت پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: آب‌اندازی، اسیدیته، آغازگرهای بومی، ماست، ویژگی‌های بافتی.

مقدمه

هزینه بالا و به طور کامل از چند کشور خارجی وارد می‌شود که با توجه به حجم بالای تولید محصولات لبنی تخمیری (پنیر، ماست و دوغ) سالانه ارزش قابل توجهی از کشور خارج می‌شود. این در حالی است که تعداد سویه‌های مختلف باکتری‌های آغازگر محدود می‌باشد. از این رو تلاش‌هایی برای جداسازی سویه‌های جدید از منابع طبیعی مختلف همچون شیر خام، گیاهان و فرآورده‌های لبنی تخمیری سنتی در سراسر جهان در جریان است (حاجی محمدی فریمانی و همکاران، ۲۰۱۶). Han و همکاران (۲۰۱۴) ۹ سویه باکتری‌های اسید لاکتیک از بین ۳۲ جدایه‌ی بومی لاکتیکی را از هفت نمونه محصولات لبنی مناطق شمال غربی چین جهت تولید ماست انتخاب کردند. از ایزوله‌ها به‌طور ترکیبی به‌عنوان آغازگر ماست استفاده کردند و اثرات آغازگر تجاری و ترکیب سویه‌های انتخاب شده از ایزوله‌ها بر روی کیفیت ماست از نظر سرعت تولید اسید، بافت و خصوصیات حسی را مورد مقایسه قرار دادند.

در ایران فرآورده‌های لبنی سنتی متنوعی همچون ماست، دوغ، مسکه، کشک و قره قروت از شیر گوسفند و بز تهیه می‌شود که ترکیب نوع و نسبت باکتری‌های اسیدلاکتیک آن با آغازگرهای مورد استفاده در مقیاس صنعتی متفاوت می‌باشند (قیامتی، ۱۳۹۱). مطالعه جامعه میکروبی فرآورده‌های سنتی به شناسایی و حفظ ذخایر میکروبی و ژنتیکی کشور کمک می‌نماید. از طرف دیگر به دانه مصرف‌کنندگان علاقه مند به محصولات طبیعی و سنتی توجه شده و تقاضای روبه افزایش این فرآورده‌ها را می‌توان پاسخ گفت. علاوه بر این، تولید و عرضه این کشت‌های آغازگر ضمن ایجاد کسب و کار و ارزآوری منطبق با اقتصاد مقاومتی نیز می‌باشد (حاجی محمدی فریمانی، ۱۳۹۴). کشت‌های میکروبی مورد استفاده در صنعت لبنیات کشور با صرف

(*) - نویسنده مسئول: (Email: habibi@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/iftstr.v17i4.86655

۱، ۲ و ۴ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳ - استادیار، بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

Dincel (۲۰۱۲) به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی ماست‌های تولید شده توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک ایزوله شده از ماست سنتی ترکیه پرداخت. با ترکیب شدن شش سویه *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* و ۶ سویه *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* به صورت‌های مختلف به تولید ۳۶ مورد ماست حاصل شد. که این جدایه‌ها از میان مجموعه‌ای شامل ۱۱۱ سویه *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* و ۵۶ سویه *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* که از ماست سنتی ترکیه با توجه به فعالیت اسیدی شدن و تولید استالید ایزوله شده بودند، انتخاب شدند. همچنین در این مطالعه دو نمونه ماست تولید شده توسط آغازگر تجاری نیز به‌عنوان نمونه شاهد نیز به کار گرفته شد و از جنبه‌های مختلف مورد آنالیز قرار گرفتند: ۱- تعیین pH و اسیدیته قابل تیت در طول بیست و یک روز ذخیره‌سازی (جهت تعیین عمر مفید نمونه‌ها) ۲- تعیین آب‌اندازی ۳- بررسی سفتی و بافت ماست ۴- سپس به بررسی محتوای استالید و اگزوپلی‌ساکاریدها پرداخته شد. Çelik (۲۰۰۷) به تعیین ترکیبات مولد عطر و تشکیل‌دهنده اگزوپلی‌ساکاریدها توسط باکتری‌های اسید لاکتیک ایزوله شده از ماست سنتی پرداخت. او تعداد بیست نمونه ماست که توسط مایه آغازگر ترکیبی شامل ۴ سویه *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و ۵ سویه *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* بود را تولید کرد همچنین علاوه به بررسی تولید ترکیبات مولد آروما و اگزوپلی‌ساکاریدها، آنالیزهای شیمیایی و میکروبی و فیزیکی و ارگانولپتیکی را انجام داد. پوراحمد و مظاهری اسدی (۲۰۰۵) به تولید ماست با استفاده از کشت‌های آغازگر بومی ایران پرداختند. آنها به تولید ماست با کیفیت خوب از آغازگرهای بومی و سپس به بررسی ماست‌های تولیدی از نظر ویژگی‌های میکروبی، شیمیایی و ارگانولپتیکی پرداختند، این پژوهش نشان داد که اسیدیته و محتوای استالید در طول زمان نگهداری (۲۱ روز) در دمای ۴ درجه سانتیگراد به‌طور معنی‌داری در سطح آماری ۵٪ افزایش یافت، میزان pH و جمعیت میکروبی در طی زمان نگهداری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، همچنین تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های ارگانولپتیکی (طعم، بو، بافت) پس از ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتیگراد وجود نداشت و در نهایت به این نتیجه رسیدند که استفاده از ماست‌های تولید شده توسط آغازگرهای بومی می‌تواند رضایت‌بخش باشد و در مقیاس صنعتی گسترش یابد. Xanthopoulos و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی خصوصیات و طبقه‌بندی ۷۴ سویه *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و ۷۵ سویه *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* جدا شده از ماست‌های سنتی یونانی پرداختند. سویه‌های مذکور را از نظر سرعت تولید اسید، ویسکوزیته، توانایی تولید مواد معطره بررسی کرده و به طبقه‌بندی آن‌ها

پرداختند. پوراحمد و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی میزان استالید در ماست‌های تولید شده به‌وسیله سویه‌های میکروبی بومی پرداختند. در این پژوهش سویه‌های میکروبی مورد استفاده در تولید ماست دو سویه *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و دو سویه *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* که از نمونه ماست سنتی جداسازی شده بود استفاده گردید و ماست با استفاده از آغازگر تجاری به‌عنوان نمونه شاهد به‌کاربرده شد. مقدار استالید به کمک روش تقطیر و تزریق در دستگاه GC اندازه‌گیری شد و ویژگی‌های شیمیایی و حسی نمونه‌ها بررسی گردید. تمام سویه‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* مورد استفاده در این پژوهش در پژوهش دیگری، از نظر صفات متعددی از جمله: مقاومت به آنتی‌بیوتیک، تولید آمین‌های بیوژنیک، تولید مواد معطر، تولید اگزوپلی‌ساکاریدها و رفتار ارگانوسم‌ها در هنگام تخمیر شیر مورد ارزیابی قرار گرفته اند (حاجی محمدی فریمانی و همکاران، ۲۰۱۶). تولید آمین‌های بیوژنیک و مقاومت به آنتی‌بیوتیک به‌عنوان معیارهای منفی جهت انتخاب آغازگر می‌باشند که سویه‌های به‌کارگرفته شده از این نظر ایمن می‌باشند، از میان مواد معطر تولید شده (۷ تا ۱۲ ترکیب فرار مختلف) استالید به‌عنوان ترکیب اصلی، که پس از آن اتانول و اسید استیک به میزان قابل توجهی توسط هر یک از سویه‌ها گزارش گردیده است. همچنین سویه‌ها توانایی مناسبی در تولید لخته یکدست و بدون آب اندازی از خود نشان دادند، از نظر تولید اگزوپلی‌ساکارید سویه‌های تولیدکننده اگزوپلی‌ساکارید دارای فنوتیپ لعابی (موکوئید) بودند که به همین دلیل برای تولید ماست سفت که باید بافتی قاشق بردار داشته باشد (مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۶۹۵، ۱۳۸۷) مطلوب تلقی می‌شود.

تحقیق حاضر تلاشی برای بررسی اثر فعالیت متابولیکی حاصل از سویه‌های آغازگر لاکتیکی بومی فوق‌الذکر جهت تولید ماست منطبق بر خواص حسی، تکنولوژیکی، رئولوژیکی مطلوب صنعت و مقایسه نمونه‌ها با نمونه ماست تولید شده توسط آغازگر تجاری بوده است.

مواد و روش‌ها

سویه‌های میکروبی

سویه‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* (۶ سویه) و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* (۳ سویه)، جدایه‌های به‌دست آمده از ماست‌های سنتی (حاجی محمدی فریمانی، ۱۳۹۴) که به صورت ترکیبی (جدول ۱) استفاده شدند به همراه دو نوع کشت‌های آغازگر تجاری ماست پرچرب از شرکت micro milk ایتالیا و DSM هلند تهیه گردید.

جدول ۱- جدایه‌های آغازگر بومی و آغازگر تجاری به کار رفته در این پژوهش

شماره ایزوله	منبع جداسازی	کد/ نام باکتری	شماره ایزوله	منبع جداسازی	کد/ نام باکتری
۷۹-۱	ماست همزه-کانلو	S1 / استرپتوکوکوس سالاریوس زیر	۳-۴۶	ماست کنارخانه	S5 / استرپتوکوکوس سالاریوس زیر گونه ترموفیلوس
۷۹-۲	ماست همزه-کانلو	S2 / استرپتوکوکوس سالاریوس زیر	۴۳	ماست نهور	S6 / استرپتوکوکوس سالاریوس زیر گونه ترموفیلوس
۷۸	ماست همزه-کانلو	S3 / استرپتوکوکوس سالاریوس زیر	84	ماست همزه-	L ₁ / لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس
۷۲	ماست توماغ	S4 / استرپتوکوکوس سالاریوس زیر گونه ترموفیلوس	2-25	ماست نهور	L ₂ / لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس
-	شرکت DSM	-	4	ماست کندور	L ₃ / لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس
-	شرکت Micromilk	-			

شرایط کشت جدایه‌های بومی

فعال سازی و کشت باکتری‌های استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس با استفاده از محیط‌های کشت M17 Agar و Mrs Agar به ترتیب تحت شرایط دمایی ۳۷ درجه سانتی‌گراد به‌طور هوازی و ۴۲ درجه سانتی‌گراد به‌صورت بی‌هوازی (قرار دادن آن‌ها در جار بی‌هوازی) انجام شد (Çelik, 2007).

ارزیابی فعالیت پروتئولیتیک جدایه‌های بومی

جهت ارزیابی فعالیت پروتئولیتیک سویه‌های لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس، در محیط کشت MRS به مدت ۲۴-۴۸ ساعت در دمای ۳۷-۴۲ درجه سانتی‌گراد تکثیر شد. به‌منظور ارزیابی فعالیت پروتئولیتیک، در پلیت حاوی محیط کشت skim milk agar (۱ درصد وزنی/ حجمی پودر شیر خشک بدون چربی و ۱ درصد وزنی/ حجمی آگار) چاهک ایجاد شد و مقدار ۵۰ میکرولیتر سوپرناتانت (قرار دادن حجم ۵ ml سوسپانسیون میکروبی، در سانتریفوژ دور (g) ۳۰۰۰، مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) به چاهک اضافه شد. پلیت‌ها در دمای ۲۴-۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند و مناطق هاله شفاف به‌عنوان فعالیت پروتئولیتیک مثبت در نظر گرفته شد و با اندازه‌گیری قطر دایره هاله شفاف به میلی‌متر تعیین گشت (Nespolo et al, 2010).

به‌منظور ارزیابی فعالیت پروتئولیتیک سویه‌های استرپتوکوکوس ترموفیلوس، کشت خطی باکتری‌ها روی محیط کشت حاوی ۱/۵ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آگار، ۱/۹ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سدیم گلیسرول فسفات، ۵ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر پودر شیر خشک بدون چربی و در نهایت ۰/۰۱ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر بروموکرزول بنفش انجام شد و به مدت ۲۴-۷۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط هوازی گرمخانه‌گذاری شدند. ظهور کلنی‌های زرد رنگ بر سطح محیط کشت به‌عنوان فعالیت پروتئولیتیک مثبت در نظر گرفته شدند (Erkus et al, 2014).

ارزیابی فعالیت اسیدی کردن شیر جدایه‌های بومی

جهت ارزیابی فعالیت تولید اسید توسط جدایه‌ها، به محیط تشکیل شده از ۱۰ درصد وزنی حجمی (آب مقطر) پودر شیر خشک بدون چربی و ۱ درصد وزنی حجمی عصاره مخمر، سویه‌های مورد بررسی تلقیح شدند (۱٪ حجمی/ حجمی) و به مدت ۶ ساعت در گرمخانه ۴۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و هر یک ساعت با استفاده از pH متر (Metrohm، سوئیس) میزان pH نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Erkus et al, 2014).

ارزیابی خاصیت تولید گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا)

جدایه‌های بومی

در ابتدا ۵ میلی‌لیتر از کشت شبانه سویه‌ها با دور ۵۰۰×g در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ (sigma، آلمان) شد و رسوب سلولی با محلول ۰/۹ درصد سدیم کلرید (حجمی/ وزنی)، شستشو و مجدداً سانتریفوژ با همان شرایط قبل بر روی سلول‌ها انجام گرفت. نمونه‌ها در محلول معرف gad معلق شدند که این معرف شامل: ۱ گرم آل-گلوتامیک اسید، ۳/۰ میلی‌لیتر تریتون ایکس-۱۰۰، ۹۰ گرم سدیم کلرید و ۰/۰۵ گرم بروموکرزول سبز در ۱ لیتر از آب مقطر حل و pH=۴ تنظیم شده، بود. پس از ۴ ساعت نگهداری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط بی‌هوازی تغییرات رنگ (ایجاد رنگ زرد به معنای عدم فعالیت آنزیم، رنگ سبز فعالیت کم و رنگ آبی بیانگر فعالیت زیاد آنزیم بود) مورد بررسی قرار گرفت (Lacroix et al, 2013).

تولید ماست با استفاده از آغازگر تجاری و جدایه‌های بومی

در ابتدا شیر پرچرب (۳٪)، هموژنیزه شده، تحت حرارت ۹۵-۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت، پس از اتمام فرآیند

۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد سانتیفیوژ شد. حجم آب جدا شده اندازه‌گیری گردید و آب اندازی به‌صورت میزان مایع جدا شده در هر صد میلی‌لیتر ماست بیان شد (Çelik, 2007).

آزمایش بافت‌سنجی نمونه‌های ماست

به‌منظور سنجش ویژگی‌های بافتی از دستگاه بافت‌سنج Texture analyzer (انگلستان) استفاده شد. ترکیبی از روش‌های اکستروژن پسر و^۱ و آنالیز پروفیل بافت (TPA)^۲ برای تعیین پارامترهای بافتی به‌کار گرفته شد (Yang et al, 2010). نیروی مورد نیاز برای نفوذ پروب استوانه‌ای با قطر ۵۰ میلی‌متر با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه تا عمق ۱/۵ سانتی‌متر (فشردگی نمونه ۶۰٪) در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بر نمونه‌های ۱۰۰ گرمی داخل ظروف استوانه‌ای با قطر ۶ سانتی‌متر اعمال گردید. از نتایج منحنی نیرو-زمان در دو سیکل بارگذاری مقادیر ویژگی‌های بافتی با استفاده از نرم‌افزار Nexygen به‌دست آمد که شامل سفتی^۳، پیوستگی^۴، چسبندگی^۵، صمغیت^۶ می‌باشند.

حرارتی ظروف حاوی شیر تا دمای ۴۵-۴۲ درجه سانتیگراد در حمام آب سرد خنک گردید. سپس آغازگرها (آغازگر تجاری و جدایه‌های مورد بررسی) به نسبت ۳٪ حجمی حجمی به شیر تلقیح شدند و پس از اختلاط کامل در ظروف ۱۰۰ گرمی تقسیم شده و به گرمخانه با دمای ۴۲ درجه سانتیگراد انتقال داده شدند. با رسیدن نمونه‌ها به pH=۴/۶ از گرمخانه خارج شده و به یخچال با دمای ۵ درجه سانتیگراد انتقال یافت (حبیبی نجفی و همکاران، ۱۳۷۷).

اندازه‌گیری اسیدیته و pH نمونه‌های ماست

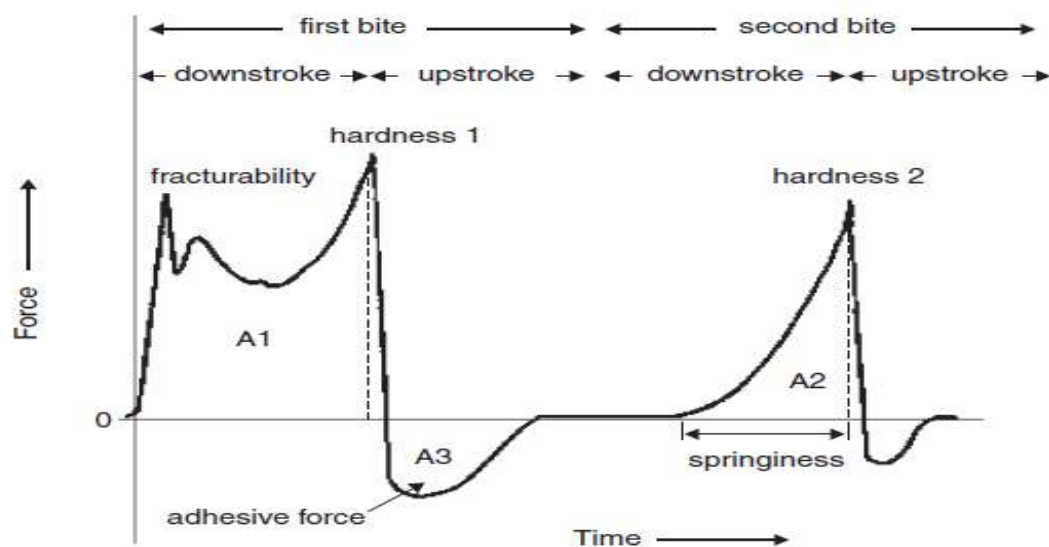
اسیدیته ماست به روش تیتراسیون و pH مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۵۲ (۱۳۸۵) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری زمان تخمیر نمونه‌های ماست

زمان تخمیر با اندازه‌گیری نمونه‌ها در شروع زمان گرمخانه‌گذاری تا رسیدن به ۴/۶ تعیین شد.

اندازه‌گیری آب‌اندازی نمونه‌های ماست

برای اندازه‌گیری آب‌اندازی، ۳۰ گرم از نمونه ماست در لوله‌ی فالکون با حجم ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد و با دور $1530 \times g$ به مدت



شکل ۱- منحنی TPA (جامز، ۱۹۹۶)

ارزیابان بر اساس علاقه و دقت انتخاب گردیده و همچنین غربالگری ارزیابان با انجام آزمون مثلثی^۷ صورت گرفت، در خصوص امتیازدهی به رنگ و ظاهر، آروما، بافت، طعم و پذیرش کلی آموزش داده شد.

آزمون حسی

به‌منظور ارزیابی خصوصیات حسی محصول از ۲۰ نفر از دانشجویان تحصیلات تکمیلی گروه علوم و صنایع غذایی آموزش دیده استفاده شد.

5 Adhesiveness
6 Giummnness
7 Triangle test

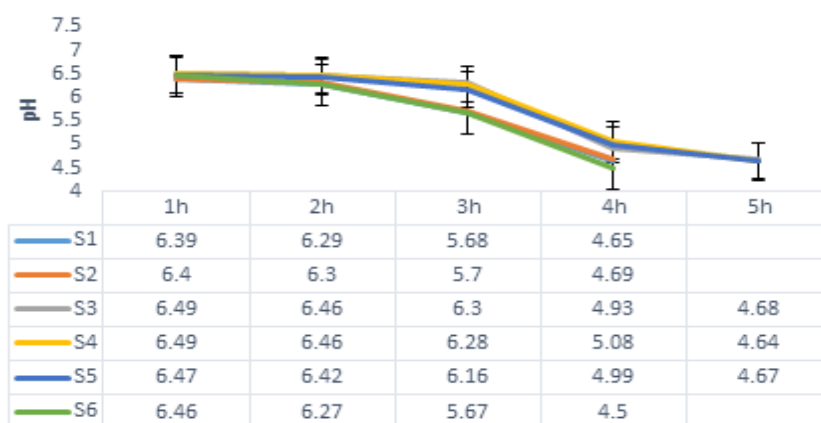
1 Back extrusion
2 Texture profile analysis
3 Hardness
4 Cohesiveness

فعالیت پروتئولیتیک سویه‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*

تمامی سویه‌ها روی محیط کشت، ظرف مدت ۴۸ ساعت رنگ محیط کشت را از بنفش به زرد تغییر دادند و پس از مدت ۲۴ ساعت، سویه‌های S۵ و S۶ کلنی زرد رنگ ایجاد نمودند (سنجش به صورت کیفی انجام شده است)، بنابراین تمامی سویه‌های مورد مطالعه در این پژوهش پروتئاز مثبت و دارای فعالیت پروتئولیتیک می‌باشند.

فعالیت اسیدی کردن شیر

از آنجا که تولید اسید باعث تجمع کازئین و در نتیجه تشکیل ژل ماست می‌شود (حبیبی نجفی و همکاران، ۱۳۷۷)، سرعت تولید اسید مهم‌ترین ویژگی فناوریانه کشت آغازگر ماست به جهت انتخاب آن‌ها به عنوان آغازگر می‌باشد. تولید اسید در ویژگی‌های عطر، بافت و طعم فرآورده، حائز اهمیت است (De vuyst et al, 2000). *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* برخلاف *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* قدرت تولید اسید کمتری نسبت به *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* دارد اما مقاومت آن در شرایط اسیدی نسبت به باکتری دیگر بیشتر است این باکتری با قدرت پروتئولیتیکی که دارد در آغاز فرآیند تخمیر از تجزیه پروتئین‌های شیر، اسیدآمینه‌های لازم خصوصاً گلیسین و والین را برای *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* که قدرت پروتئولیتیکی پائین دارد، فراهم می‌کند.



شکل ۲- فعالیت اسیدی کردن شیر توسط سویه‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*.

که نتیجه این تراکم کازئین‌ها شبکه پروتئینی ایجاد شده که ساختار و قوام ماست را به وجود می‌آورند. در ابتدا رشد باکتری‌های کوکسی سریعتر از رشد باسیل‌ها است و بعد از اثر افزایش اسیدیته رشد باسیل‌ها سریعتر از کوکسی‌ها می‌گردد و در ادامه روند تخمیر تعداد هر دو باکتری برابر می‌گردد. رشد *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* توسط اسید آمینه‌های

این آزمون از روش هدونیک ۵ نقطه ای استفاده شد؛ که به نمونه بسیار رضایت بخش نمره ۵، رضایت بخش ۴، قابل قبول ۳، غیرقابل قبول ۲، غیرقابل مصرف ۱، تعلق گرفت (استاندارد ملی ایران، شماره ۴۶۹۱).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این پژوهش بر مبنای آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار مستقل اجرا گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با کمک نرم‌افزار آماری مینی‌تب (نسخه ۱۷) انجام گرفت. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح معنی‌داری ($P < 0.05$) انجام شد. منحنی‌ها با نرم‌افزار مایکروسافت (نسخه ۲۰۱۳) رسم شدند.

نتایج و بحث

فعالیت پروتئولیتیک سویه‌های *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر

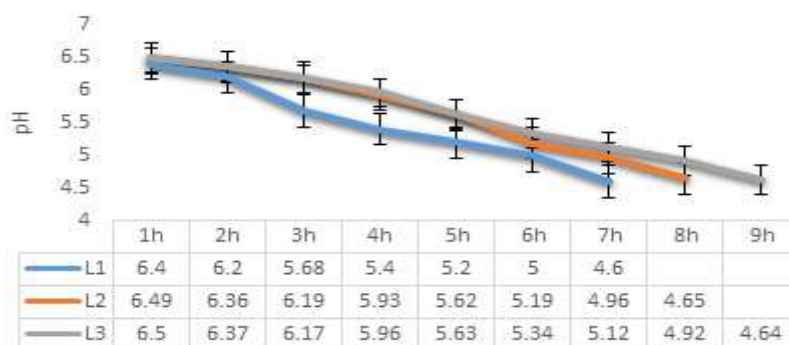
گونه *بولگاریکوس*

فعالیت پروتئولیتیک یک ویژگی مهم برای کشت‌های آغازگر به شمار می‌رود زیرا به کمک آن سوبسترای آنزیم‌های کاتابولیک برای تولید اسید آمینه را فراهم می‌کند. اصولاً سویه‌های با فعالیت پروتئولیتیک بالا برای به کارگیری به عنوان کشت آغازگر مناسب هستند (Yvon, 2006).

نتایج به دست آمده از آزمون روش انتشار چاهک نشان داد که قطر هاله سه سویه *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* با کدهای L۱، L۲ و L۳ به ترتیب برابر با ۲۱، ۱۵ و ۷ میلی‌متر بود.

نسبت باکتری کوکسی به باسیل در کشت آغازگر ماست یک به یک است در حقیقت زمانی که این کشت به شیر تلقیح می‌شود این باکتری‌ها شروع به رشد کرده و لاکتوز را تخمیر کرده به اسید لاکتیک تبدیل می‌کنند. در نتیجه باعث بالا رفتن اسیدیته شیر می‌شود و pH شیر به حدود ۴-۴/۵ می‌رسد که در این pH کازئین‌های شیر تجمع می‌کنند

تمام سویه‌های استریپتوکوکوس ترموفیلوس مورد بررسی کمتر از پنج ساعت pH شیر را به ۴/۶ رساندند و سویه استریپتوکوکوس ترموفیلوس کد S6 به‌عنوان سریع‌ترین تولید کننده اسید طی مدت ۳ ساعت و ۳۰ دقیقه pH شیر را به ۴/۶ رساند (شکل ۲). سویه‌های لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس L1، L2 و L3 به ترتیب طی مدت ۷، ۸ و ۹ ساعت توانستند pH شیر را به ۴/۶ کاهش دهند (شکل ۳).



شکل ۳- فعالیت اسیدی کردن شیر توسط سویه‌های لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس.

که به‌عنوان یک ترکیب سودمند در صنایع غذایی و دارویی به کار رود. BumPark و همکاران (۲۰۱۱) به تولید ماستی با سطوح افزایش یافته گابا و مواد مغذی با ارزش بالا (اسید آمینه‌های آزاد) با استفاده از عصاره سویا جوانه زده و باکتری‌های اسید لاکتیک پرداختند آنها شیر سویای تخمیر شده (ماست سویا حاوی گابا) را با کمک آغازگر تولید کردند که غلظت گابا در این ماست در حدود $67/424 \mu\text{g}$ می‌باشد در حالی که ماست‌های تولید شده مطابق روش رایج و مرسوم حاوی کمتر از $1/5 \mu\text{g}$ گابا هستند و نتایج حاصله در این مطالعه نشان داد که به‌کارگیری لاکتوباسیلوس برویس و سویای جوانه زده در صنایع لبنی جهت تولید مواد غذایی فراسودمند با ارزش غذایی بالا چشم‌انداز روشنی خواهد داشت. در این پژوهش جهت تشخیص کیفی وجود گابا از یک آزمون سریع رنگ‌سنجی براساس حضور و عدم حضور آنزیم گلوتامیک اسید دکربوکسیلاز (GAD) استفاده شد. به‌طوری که ایجاد رنگ زرد به معنای عدم فعالیت آنزیم، رنگ سبز فعالیت کم و رنگ آبی بیانگر فعالیت زیاد آنزیم بود (Lacroix et al, 2013). نتایج نشان داد که، در بین سویه‌های استریپتوکوکوس ترموفیلوس، کدهای S1، S5 و S6 دارای تغییر رنگ واضح و قابل تشخیص آبی بودند، سایر سویه‌ها رنگ سبز را از خود نشان دادند. در بین سویه‌های لاکتوباسیلوس سویه شماره L3 هیچ‌گونه تغییر رنگی از خود نشان نداد، به‌طوری که می‌توان گفت در مقایسه با نمونه شاهد تغییر چندانی نداشت و زرد رنگ بود و سویه‌های L1، L2 رنگ سبز را ایجاد کردند.

آزاد (گلیسین و هیستیدین) و پپتیدهای کوچک پروتئین‌های شیر که توسط فعالیت آنزیم پروتئاز لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس ایجاد شده، فراهم می‌شود و در عین حال رشد لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس با افزایش اسیدیته به دلیل تولید اسید فرمیک و اسید فولیک و... توسط استریپتوکوکوس ترموفیلوس، تحریک می‌گردد (Corrieu et al, 2016). نقش این دو باکتری را می‌توان به‌طور خلاصه در اسیدی شدن شیر و سنتز ترکیبات معطر ماست نام برد (Innocente et al, 2016).

تولید گابا

گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا) یک اسید آمینه چهارکربنی غیرپروتئینی است که به‌طور گسترده‌ای در گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم‌ها وجود دارد (Ueno, 2000). گابا دارای چندین عملکرد فیزیولوژیکی خاص و مهم مانند: درمان بی‌خوابی و افسردگی، بیماری‌های خود ایمنی، درمان ناهنجاری‌های عصبی، کاهش استرس، فشار خون و ... می‌باشد، همچنین گابا غلظت هورمون‌های رشد پلازما و سرعت سنتز پروتئین در مغز را بهبود می‌بخشد (Hagiwara et al, 2004). بسیاری از میکروارگانیسم‌ها: قارچ‌ها، مخمرها و باکتری‌ها قادر به تولید گابا هستند، که در میان آنها باکتری‌های اسید لاکتیک به جهت اینکه دارای فعالیت فیزیولوژیکی خاص هستند، همچنین منابع ایمنی می‌باشند و به‌طور گسترده‌ای در صنایع غذایی استفاده می‌شوند، بسیار مورد توجه قرار گرفتند. تولید گابا توسط باکتری‌های اسید لاکتیک ایمن و سازگار با محیط زیست بوده و همچنین امکان تولید محصولات سلامتی‌زای تخمیری غنی شده با گابا را فراهم می‌کند و برخی از این باکتری‌های اسید لاکتیک به جهت دارا بودن آنزیم گلوتامیک اسید دکربوکسیلاز قادر به تولید گابا می‌باشند (et al, 2010) (Li Sanders) که این آنزیم درون سلولی بوده (Huang et al, 2007) و در پاسخ به استرس اسیدی در این نوع باکتری‌ها القا می‌شود (et al, 1998). میزان pH بهینه برای حفظ فعالیت این آنزیم حدود ۴-۵ می‌باشد و دمای مطلوب برای فعالیت آن ۳۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Servili et al, 2011). بنابراین گابا دارای این پتانسیل است

تولید ماست توسط آغازگرهای بومی و تجاری میزان اسیدیته و pH

اسید لاکتیک محصول عمده کاتابولیسم لاکتوز در فرآیند تولید ماست است. با تولید تدریجی اسید لاکتیک، میسل کازئین ناپایدار شده که به دلیل حل شدن فسفات کلسیم کلوئیدی است، به دنبال آن پروتئین‌های آب پنیر دناتوره می‌شوند. به‌طوری که با تجمع کازئین ژل ماست تشکیل می‌شود. اسید لاکتیک به ماست مزه خاص و معینی نظیر مزه اسیدی و ترش می‌دهد و باعث تشدید طعم‌های معطر می‌شود (Tamime et al, 1999). میزان pH و اسیدیته نمونه‌ها با یکدیگر به‌طور معنی‌داری تفاوت داشت ($P < 0.05$). تفاوت در pH و اسیدیته بین نمونه‌های مختلف سویه‌های متفاوت از یک گونه را می‌توان به اختلافات درون گونه‌ای نسبت داد. نمونه S2L2 و S5L2 نسبت به سایر نمونه‌ها پس از یک شب نگهداری در سردخانه بیشترین کاهش pH و افزایش اسیدیته را نشان دادند ($P < 0.05$). سایر نمونه‌ها پس از یک شب نگهداری در یخچال میزان تغییرات pH و اسیدیته‌هایی مشابه نمونه‌های شاهد داشتند. Soomro و همکاران (۲۰۰۸) به انتخاب آغازگرهای ماست از جدایه‌های بومی / استریپتوکوکوس ترموفیلوس و

لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس بر اساس خواص تکنولوژیکی (تولید اسیدیته مناسب پس از زمان لازم، تولید ترکیبات مولد عطر و طعم و انجام تست پانل برای ماست‌های تولید شده توسط ترکیب آغازگرهای بومی) پرداختند. نتایج نشان داد که تعدادی از جدایه‌ها قادر به تولید اسید به میزان بیش تر از ۰/۷ درصد بعد از ۶ ساعت گرمخانه‌گذاری هستند و میزان استالیدی تولیدی به‌عنوان ترکیب اصلی مولد عطر و طعم توسط مخلوط کشت (استریپتوکوکوس ترموفیلوس به همراه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس) از طریق روش گاز کروماتوگرافی سنجیده شد که به میزان آن ۱۹/۹۵ ppm در ۴۳ درجه سانتی‌گراد بود و در نهایت به این نتیجه رسیدند که سویه‌ها پتانسیل به‌کارگیری به‌عنوان کشت آغازگر در تولید ماست را دارا هستند. اسکندری و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی ویژگی‌های تکنولوژیکی مهم صنعتی باکتری‌های آغازگر ایزوله شده از ماست‌های بومی ایران پرداختند براساس نتایج به‌دست آمده در این مطالعه آغازگرهای بومی نسبت به آغازگرهای تجاری از توانایی بیشتری در افزایش اسیدیته در ابتدای فرآیند تخمیر و کاهش توان تولید اسید در مرحله بیش اسیدسازی برخوردار بودند.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیوشیمیایی نمونه‌های ماست

نمونه‌ها	pH	اسیدیته (درصد اسید لاکتیک)	آب اندازی (درصد)	زمان تخمیر (ساعت)
S1L1	۴/۴۰±۰/۴۰ ^{abcd}	۰/۷۴±۰/۰۰۶ ^{abc}	۳۸/۵۷±۴/۶۲ ^c	۴
S1L2	۴/۴۵±۰/۰۵۵ ^{abcd}	۰/۷۳±۰/۰۰۳ ^{abc}	۴۱/۵۵±۲/۰۴ ^{abc}	۳/۳۰
S1L3	۴/۴۶±۰/۱۲۵ ^{abc}	۰/۷۲±۰/۰۰۲۵ ^{abc}	۴۱/۸۹±۲/۰۱ ^{abc}	۵
S2L1	۴/۵۸±۰/۰۴۰ ^a	۰/۷۱±۰/۰۱۵ ^{bc}	۴۴/۷۸±۰/۶۹ ^{abc}	۵
S2L2	۴/۲۷±۰/۰۲۰ ^{cd}	۰/۷۷±۰/۰۰۶ ^a	۴۰/۰۰±۰/۶۷ ^{bc}	۴/۳۰
S2L3	۴/۲۹±۰/۰۱۰ ^{cd}	۰/۷۶±۰/۰۰۶ ^{ab}	۴۶/۴۴±۲/۱۲ ^a	۵
S3L1	۴/۳۷±۰/۰۱۷ ^{bcd}	۰/۷۶±۰/۰۰۶ ^{ab}	۴۱/۵۷±۱/۱۷ ^{abc}	۴/۰۰
S3L2	۴/۴۵±۰/۱۱۵ ^{abcd}	۰/۷۳±۰/۰۰۳ ^{abc}	۴۰/۷۸±۱/۳۵ ^{abc}	۴/۳۰
S3L3	۴/۵۹±۰/۰۸۰ ^a	۰/۶۹±۰/۰۰۲ ^c	۴۶/۳۳±۲/۰۳ ^{ab}	۶
S4L1	۴/۶۰±۰/۰۱۵ ^a	۰/۶۹±۰/۰۰۶ ^c	۴۴/۴۵±۲/۵۵ ^{abc}	۵
S4L2	۴/۳۵±۰/۰۳۸ ^{bcd}	۰/۷۷±۰/۰۰۶ ^{ab}	۴۵/۰۰±۱/۶۷ ^{ab}	۴/۳۰
S4L3	۴/۴۵±۰/۰۵۵ ^{abcd}	۰/۷۴±۰/۰۰۶ ^{abc}	۴۰/۸۹±۲/۱۴ ^{abc}	۵
S5L1	۴/۳۲±۰/۰۱۷ ^{cd}	۰/۷۵±۰/۰۰۱ ^{ab}	۴۲/۰۰±۰/۸۸ ^{abc}	۴
S5L2	۴/۲۶±۰/۰۰۳۵ ^d	۰/۷۶±۰/۰۰۱۲ ^{ab}	۴۲/۵۵±۲/۲۷ ^{abc}	۴/۳۰
S5L3	۴/۴۴±۰/۰۰۳۵ ^{abcd}	۰/۷۴±۰/۰۰۶ ^{abc}	۴۱/۵۵±۱/۳۵ ^{abc}	۴
S6L1	۴/۴۵±۰/۱۵۰ ^{abcd}	۰/۷۳±۰/۰۰۴۶ ^{abc}	۴۳/۶۷±۲/۱۸ ^{abc}	۵
S6L2	۴/۵۰±۰/۰۰۲۰ ^{ab}	۰/۷۲±۰/۰۰۱۵ ^{bc}	۴۳/۱۱±۲/۸۸ ^{abc}	۳/۳۰
S6L3	۴/۳۴±۰/۰۰۳۶ ^{bcd}	۰/۷۴±۰/۰۰۶ ^{abc}	۴۲/۷۸±۰/۹۶ ^{abc}	۴

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی دار می باشند ($P < 0.05$)

آباندازی

مقدار آباندازی ۱۸ نمونه‌ی مورد بررسی در محدوده ۴۴/۴۶-۳۸/۵۶ درصد بود ($P < 0.05$)، که در مقایسه با دو نمونه ماست تولید شده با آغازگر تجاری، مقدار آباندازی ماست شاهد DSM بیشتر از نمونه‌ها بود (۴۷/۲۶٪) و همچنین می‌توان گفت که آباندازی ماست شاهد Micromilk تقریباً مشابه نمونه‌های مورد بررسی بود (۴۳/۸۹٪).

بنابراین نتایج یافت شده حاکی از توانایی رقابت ماست‌های تولید شده توسط آغازگرهای بومی از حیث آباندازی با ماست‌های تولید شده توسط آغازگرهای تجاری می‌باشد به‌طوری که نمونه‌هایی با کدهای: S_1L_1 ، S_3L_2 ، S_3L_1 ، S_2L_2 مقدار آباندازی کمتری را نسبت به آغازگرهای تجاری نشان دادند که این کاهش مقدار آباندازی نمونه‌ها را می‌توان به دلیل احتمال تولید اگزوپلی‌ساکارید توسط سویه‌های مذکور دانست.

جدول ۳- ویژگی‌های بافتی نمونه‌های ماست در آزمون ترکیبی TPA-اکستروژن پسر

نمونه	سفتی (N)	پیوستگی	چسبندگی (Nm)	صمغیت (N)
S_1L_1	۳/۹۲۱۰۳±۰/۰۳۹ ^{cd}	۰/۳۸۱۲۹۲±۰/۰۳۹ ^{abcd}	۰/۰۰۳۵۸۱۲±۰/۰۰۰۸ ^a	۱/۴۱۰۹۳±۰/۰۲۰ ^{abcd}
S_1L_2	۳/۴۷۲۹۲±۰/۰۳۵ ^{ef}	۰/۴۱۴۶۵۵±۰/۰۰۶ ^{ab}	۰/۰۰۴۱۳۷۶±۰/۰۰۰۲ ^a	۱/۴۴۶۲۵±۰/۰۱۵۱ ^{abcd}
S_1L_3	۳/۹۹۱۸۵±۰/۰۰۴ ^{bcd}	۰/۳۹۸۷۲۳±۰/۰۱۸ ^{abc}	۰/۰۰۲۷۴۲۳±۰/۰۰۰۷ ^a	۱/۵۹۱۷۱±۰/۰۰۷۵ ^a
S_2L_1	۳/۵۱۲۶۴±۰/۰۲۶ ^{ef}	۰/۴۲۴۹۳۷±۰/۰۱۱ ^a	۰/۰۰۳۶۲۹۶±۰/۰۰۰۱۹ ^a	۱/۴۹۰۸۶±۰/۰۰۷۹ ^{abc}
S_2L_2	۴/۴۱۶۰۲±۰/۰۰۹ ^a	۰/۳۶۸۴۷۵±۰/۰۰۳ ^{abcde}	۰/۰۰۳۸۳۳۶±۰/۰۰۰۲۸ ^a	۱/۶۲۴۰۱±۰/۰۱۲۶ ^a
S_2L_3	۳/۸۵۷±۰/۰۰۷ ^{cde}	۰/۳۴۶۵۹۵±۰/۰۱۴ ^{cde}	۰/۰۰۴۷۸۱۲±۰/۰۰۰۴ ^a	۱/۳۳۳۹۸±۰/۰۰۱۹ ^{bcd}
S_3L_1	۳/۳۹۹۸۲±۰/۰۰۷ ^{ef}	۰/۳۸۸۸۵±۰/۰۰۲ ^{abcd}	۰/۰۰۴۲۲۳±۰/۰۰۰۸ ^a	۱/۳۲۲۸۴±۰/۰۰۳ ^{bcd}
S_3L_2	۴/۳۶۰۸۱±۰/۰۰۸ ^{ab}	۰/۳۳۳۶۴±۰/۰۰۰۷ ^{de}	۰/۰۰۲۲۹۴۱±۰ ^a	۱/۴۵۴۸۷±۰/۰۰۳۹ ^{abcd}
S_3L_3	۳/۳۴۴۹۶±۰/۰۰۱ ^f	۰/۳۸۸۳۳۷±۰/۰۰۱ ^{abcd}	۰/۰۰۲۲۹۴۱±۰/۰۰۰۴ ^a	۱/۴۲۷۵۲±۰/۰۰۵ ^{abcd}
S_4L_1	۳/۴۷۳۳۳±۰/۰۰۷ ^{ef}	۰/۳۶۸۱۷۵±۰/۰۰۲ ^{abcde}	۰/۰۰۳۴۵۲±۰/۰۰۰۵ ^a	۱/۲۷۹۷۵±۰/۰۰۱ ^{cde}
S_4L_2	۳/۹۹۷۰±۰/۰۰۳ ^{bcd}	۰/۳۸۴۹۵۱±۰/۰۰۲ ^{abcd}	۰/۰۰۲۵۴۵۷±۰ ^a	۱/۵۲۹۴۲±۰/۰۰۱۷ ^{ab}
S_4L_3	۳/۴۶۰۹۱±۰/۰۰۴ ^{ef}	۰/۳۶۵۵۵۳±۰/۰۰۳ ^{bcde}	۰/۰۰۳۶۰۲۷±۰/۰۰۰۱ ^a	۱/۴۴۰۸۷±۰/۰۰۳۷ ^{abcd}
S_5L_1	۳/۳۴۶۰۸±۰/۰۰۷ ^{ef}	۰/۳۷۳۲۵۸±۰/۰۰۲ ^{abcd}	۰/۰۰۴۳۳۳۴±۰/۰۰۰۱ ^a	۱/۲۴۹۳۵±۰/۰۰۸۲ ^{de}
S_5L_2	۳/۳۵۸۳۵±۰/۰۰۴ ^f	۰/۳۵۶۱۰۴±۰/۰۰۴ ^{cde}	۰/۰۰۲۶۴۱۲±۰/۰۰۰۳ ^a	۱/۱۷۶۸۱±۰/۰۰۰۵ ^e
S_5L_3	۳/۶۴۵۵۸±۰/۰۰۳ ^{def}	۰/۳۷۴۸۸۷±۰/۰۰۴ ^{abcd}	۰/۰۰۳۴۳۰۱±۰ ^a	۱/۵۱۸۴۹±۰/۰۰۰۶ ^{ab}
S_6L_1	۳/۹۱۸۳۲±۰/۰۱۲ ^{cd}	۰/۳۱۲۶۳±۰/۰۰۲ ^{de}	۰/۰۰۳۲۲۸۲±۰/۰۰۰۱ ^a	۱/۲۲۶۴۶±۰/۰۱۲۹ ^{de}
S_6L_2	۴/۰۵۴۳۵±۰/۰۰۷ ^{abc}	۰/۳۵۰۴۳۴±۰/۰۰۱ ^{cde}	۰/۰۰۴۶۷۰۲±۰/۰۰۰۴ ^a	۱/۴۱۹۳۲±۰/۰۰۵۱ ^{abcd}
S_6L_3	۳/۴۲۸۷۸±۰/۰۰۲ ^f	۰/۳۴۲۳۳۲±۰/۰۰۱ ^{cde}	۰/۰۰۴۸۲۷۸±۰/۰۰۰۳ ^a	۱/۴۵۰۱۳±۰/۰۰۱۶ ^{abcd}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی دار می باشند ($P < 0.05$).

امانی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثر فعالیت پروتئولیتیکی و تولید اگزوپلی‌ساکارید توسط آغازگرهای بومی بر ویژگی‌های تکنولوژیکی و ارگانولپتیکی ماست‌های تولید شده توسط آغازگرهای بومی جدا شده از ماست‌های بومی ایران پرداختند، یازده نمونه ماست با انتخاب ۵ جدایه لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس و ۲ جدایه استرپتوکوکوس ترموفیلوس تولید شد بررسی ویژگی‌های تکنولوژیکی نشان داد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در قدرت تولید اسید جدایه‌های تولیدکننده اگزوپلی‌ساکارید (EPS) و جدایه‌های غیرتولیدکننده

اگزوپلی‌ساکارید وجود نداشته است همچنین جدایه‌های با فعالیت پروتئولیتیک بالا توانایی تولید اسید کمتری داشته‌اند و زنده مانی این جدایه‌ها طی دوره نگهداری بیشتر از جدایه‌های دیگر بوده است. نمونه‌های حاوی آغازگر تولید کننده اگزوپلی‌ساکارید، خصوصیات بافتی (قوام، آباندازی و ظرفیت نگهداری) بهتری نسبت به نمونه‌های تولید شده توسط آغازگرهای (NEPS) نشان دادند. که در برخی از نمونه‌ها با توجه به نوع EPS تولید شده و فعالیت پروتئولیتیکی بالا خصوصیات بافتی مطلوب کمتری داشتند آباندازی نمونه‌ها طی زمان نگهداری

کلی آب‌اندازی وقتی اتفاق می‌افتد که ژل ماست توانایی خود را در به دام انداختن تمام فاز سرم به علت تضعیف شبکه ژل از دست می‌دهد. بنابراین تقویت ژل ماست می‌تواند آب‌اندازی را کاهش دهد (Lucey, 2002). جدا شدن آب ماست (سرم) که با ظهور مایع روی سطح لخته نمایان می‌شود، یک عیب شایع در فرآورده‌های لبنی تخمیری می‌باشد که در این پژوهش، ماست‌های تولید شده با آغازگرهای بومی عاری از این عیب بودند.

کاهش و ظرفیت نگهداری افزایش یافت؛ ولی روند سینریز و ظرفیت نگهداری آب در نمونه‌های تولید شده با استفاده از آغازگر با فعالیت پروتئولیتیک بالا تا روز ۲۱ نگهداری دارای روند مشابه نمونه‌های دیگر بوده است و در هفته چهارم روند تغییرات عوض شده و میزان آب‌اندازی افزایش و ظرفیت نگهداری کاهش یافته است. Çelik (۲۰۰۷) در بررسی خود مقدار آب‌اندازی ۲۰ نمونه ماست تولید شده را با استفاده از آغازگرهای بومی ترکیه در محدوده ۶۲/۰۱-۴۵/۰۰ درصد بیان کرد، که در طی ۲۱ روز زمان نگهداری میزان آب‌اندازی کاهش یافت. به‌طور

جدول ۴- ویژگی‌های حسی نمونه‌های ماست

نمونه	رنگ	بافت	بو	طعم	ظاهر	پذیرش کلی
S1L1	۵±.a	۴/۶۱±۰/۰۱۳ ^{cde}	۴/۵۱±۰/۰۱۳ ^{efg}	۴/۷۱±۰/۰۱۳ ^c	۴/۸۱±۰/۰۱۷ ^{bc}	۴/۷۴±۰/۰۱۵ ^c
S1L2	۴/۸۴±۰/۰۰۶ ^d	۴/۵۱±۰/۰۱۳ ^{ef}	۳/۹۴±۰/۰۰۶ ^j	۳/۹۱±۰/۰۰۳ ^{ij}	۳/۶۶±۰/۰۵۵ ^g	۴/۰۳±۰/۰۰۲ ⁱ
S1L3	۴/۷۹±۰ ^d	۴/۴۹±۰/۰۱۳ ^{ef}	۳/۸۳±۰/۰۰۲ ^k	۴/۲۸±۰/۰۱۷ ^f	۴/۵۹±۰/۰۱۳ ^d	۴/۲۹±۰/۰۱۷ ^{gh}
S2L1	۵±.a	۴/۳۸±۰/۰۰۲۰ ^f	۴/۱۰±۰ ^h	۴/۲۰±۰ ^g	۴/۱۵±۰/۰۰۵ ^e	۴/۴۴±۰/۰۰۳ ^f
S2L2	۴/۷۳±۰ ^e	۴/۸۱±۰/۰۰۲۱ ^{ab}	۴/۴۵±۰/۰۰۱۵ ^{fg}	۴/۵۸±۰/۰۰۲۰ ^d	۴/۴۹±۰/۰۰۳۱ ^d	۴/۶۳±۰/۰۰۲۵ ^{df}
S2L3	۵±.a	۴/۷۲±۰/۰۰۱۷ ^{bc}	۴/۵۷±۰/۰۰۱۷ ^{de}	۳/۸۸±۰/۰۰۲۹ ^j	۴/۹۰±۰ ^{ab}	۴/۴۵±۰/۰۰۴۶ ^f
S3L1	۵±.a	۴/۹۴±۰/۰۰۰۶ ^a	۴/۷۰±۰ ^b	۴/۹۳±۰/۰۰۳۳ ^a	۴/۹۰±۰ ^{ab}	۴/۹۲±۰/۰۰۲۵ ^{ab}
S3L2	۴/۶۹±۰ ^e	۴/۴۱±۰/۰۰۱۳ ^f	۴/۰۲±۰/۰۰۲۹ ⁱ	۴/۴۲±۰/۰۰۰۶ ^e	۳/۹۵±۰/۰۰۱۷ ^f	۴/۲۱±۰/۰۰۰۶ ^h
S3L3	۴/۳۱±۰/۰۰۰۶ ^g	۳/۰۲±۰/۰۰۲۹ ^j	۳/۳۴±۰/۰۰۳۵ ^l	۲/۸۸±۰/۰۰۲۶ ^l	۲/۵۸±۰/۰۰۰۶ ^h	۳/۰۳±۰/۰۰۰۲ ^l
S4L1	۴/۴۹±۰/۰۰۴۲ ^f	۳/۷۵±۰/۰۰۴۵ ⁱ	۳/۸۴±۰ ^k	۴/۲۸±۰/۰۰۱۷ ^f	۳/۷۰±۰/۰۰۰۶ ^g	۴/۳۲±۰/۰۰۲۳ ^g
S4L2	۵±.a	۴/۷۸±۰/۰۰۴۷ ^{ab}	۴/۸۱±۰/۰۰۳۳ ^a	۴/۷۵±۰/۰۰۰۴ ^c	۴/۹۳±۰/۰۰۲۹ ^a	۵±.a
S4L3	۴/۹۵±۰/۰۰۰۵ ^b	۴/۰۷±۰/۰۰۰۶ ^{gh}	۳/۹۴±۰/۰۰۰۴ ^j	۳/۹۷±۰/۰۰۲۹ ^{gi}	۴/۱۵±۰/۰۰۰۵ ^e	۳/۹۹±۰/۰۰۱۲ ⁱ
S5L1	۵±.a	۴/۶۱±۰/۰۰۱۳ ^{cde}	۴/۵۰±۰ ^{fg}	۴/۶۲±۰/۰۰۲۱ ^d	۴/۵۳±۰/۰۰۲۵ ^d	۴/۷۲±۰/۰۰۱۵ ^c
S5L2	۴/۹۴±۰ ^{bc}	۴/۲۱±۰/۰۰۰۶ ^g	۴/۶۸±۰/۰۰۰۲ ^{bc}	۴/۴۱±۰/۰۰۱۳ ^e	۴/۷۹±۰/۰۰۰۶ ^c	۴/۶۲±۰/۰۰۱۷ ^e
S5L3	۴/۸۹±۰/۰۰۱۲ ^c	۴/۷۰±۰/۰۰۰۶ ^{bcd}	۴/۱۵±۰ ^h	۴/۰۰±۰ ^h	۳/۶۵±۰/۰۰۰۴ ^g	۳/۸۳±۰/۰۰۰۲ ^j
S6L1	۵±.a	۴/۵۳±۰/۰۰۵۸ ^{def}	۴/۶۲±۰/۰۰۲۹ ^{cd}	۴/۷۰±۰ ^c	۴/۷۹±۰/۰۰۱۳ ^c	۴/۷۰±۰/۰۰۰۶ ^{cd}
S6L2	۵±.a	۴/۹۴±۰/۰۰۳۳ ^a	۴/۵۱±۰/۰۰۱۳ ^{ef}	۴/۸۳±۰/۰۰۰۳ ^b	۴/۹۰±۰ ^{ab}	۴/۹۲±۰/۰۰۲۹ ^b
S6L3	۵±.a	۴±.h	۴/۴۴±۰/۰۰۰۴ ^g	۳/۵۳±۰/۰۰۰۴ ^k	۴/۲۴±۰/۰۰۰۳ ^e	۳/۶۴±۰/۰۰۰۴ ^k

ویژگی‌های بافتی

ویژگی‌های بافتی ۱۸ نمونه ماست در جدول ۳ نشان داده شده است. سفتی عبارت است از نیروی لازم برای فشردگی کامل نمونه توسط دندان آسیاب و یا نیروی لازم برای رسیدن به یک تغییر شکل مشخص. در یک منحنی TPA برابر نیروی اعمال شده در پیک اولین سیکل فشردده‌سازی و بر حسب نیوتن می‌باشد (Bourne, 2002). سفتی نمونه‌ها در محدوده ۴ تا ۳ نیوتن بود. میزان سفتی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری با هم متفاوت بودند ($P < 0.05$)، کمترین میزان سفتی مربوط

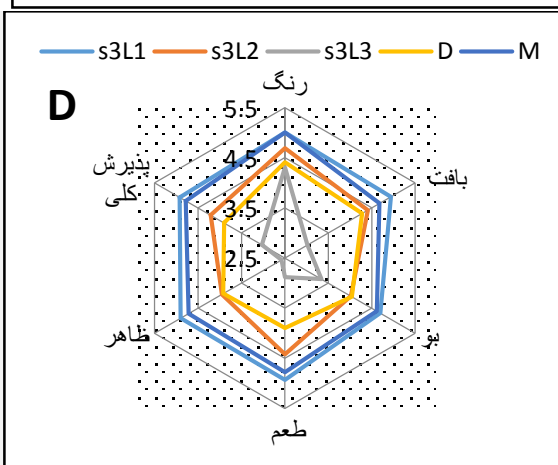
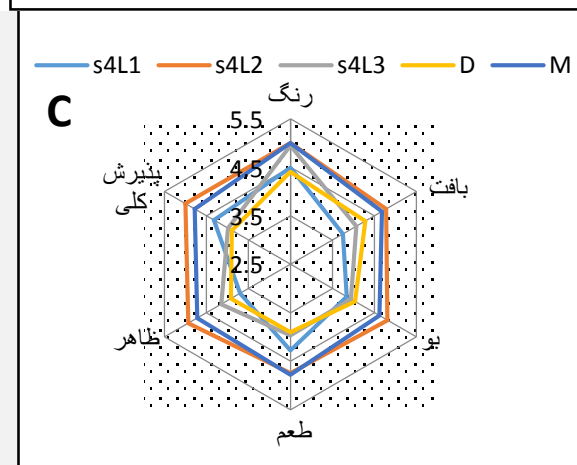
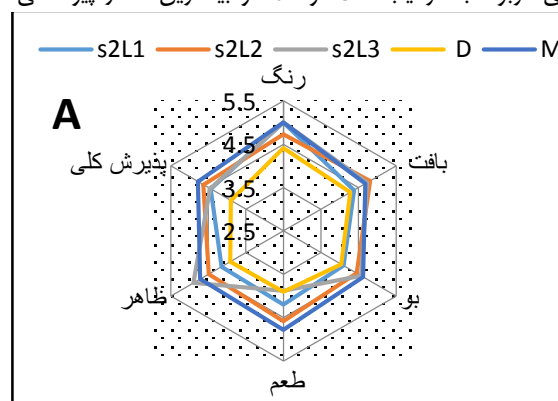
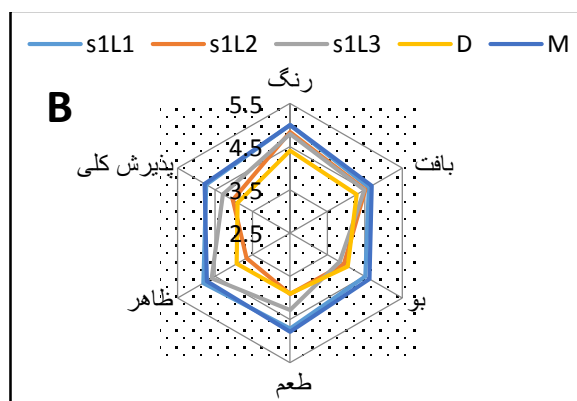
به ترکیب S3L3 بود. از آنجایی که ماست با سفتی بالا نزد مصرف‌کننده مقبولیت بیشتری دارد بنابراین این ترکیب از بین سایر نمونه‌ها حذف شد. بالاترین میزان سفتی نسبت به سایر ترکیب‌ها و نمونه‌های شاهد نیز مربوط به ترکیب S6L2 و S3L2 بود ($P < 0.05$). این تفاوت در میزان سفتی نمونه‌ها را می‌توان به دلیل تولید متابولیت‌های احتمالی از سویه‌ها دانست. چسبندگی فاکتور مناسبی برای ارزیابی پایداری محصول می‌باشد و در ایجاد احساس دهانی مطلوب و بهبود ویژگی بافتی و پایداری محصول موثر است (Zhao et al, 2006). چسبندگی

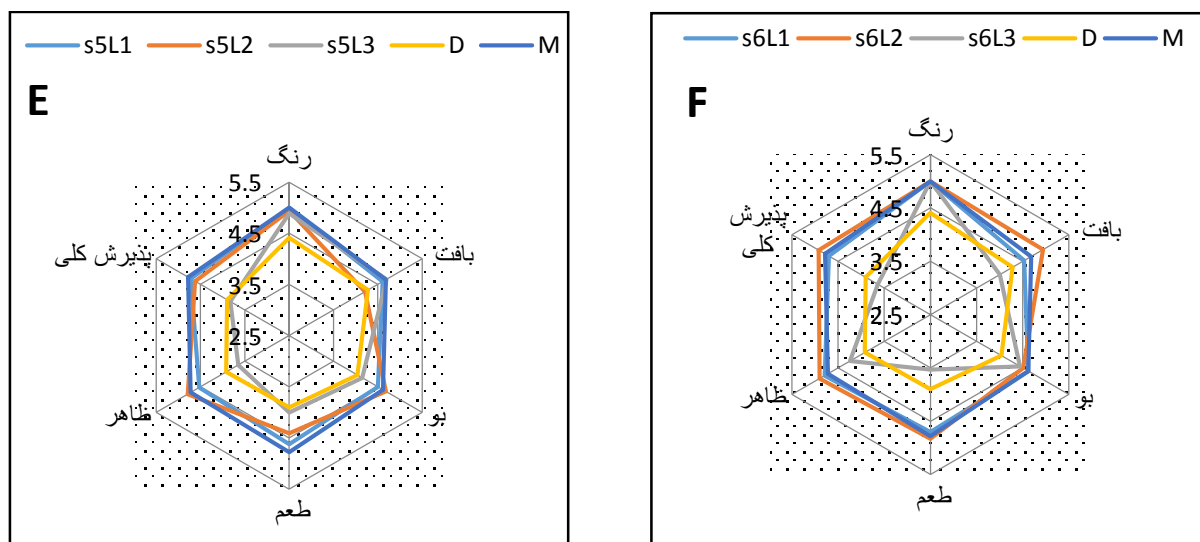
نسبت به سایر ترکیب‌ها نیز مربوط به ترکیب S_6L_2 و S_3L_2 و S_2L_2 بود ($P < 0.05$)

ارزیابی حسی

نتایج حاصل از ارزیابی حسی در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به امتیازات ارزیابی حسی مشخص شد که ترکیب S_3L_3 از تمام جهات در بین نمونه‌ها دارای کمترین امتیاز بود ($P < 0.05$)، که همبستگی خوبی با نتایج آزمون ویژگی‌های بافتی داشت بنابراین حذف شد، ترکیب‌های S_1L_1 ، S_2L_2 ، S_5L_2 ، S_5L_1 ، S_3L_1 ، S_4L_2 ، S_6L_2 ، S_6L_1 دارای بیشترین امتیاز حسی بودند و امتیاز نمونه‌های مذکور مشابه امتیاز حسی ماست شاهد Micromilk (پذیرش کلی = ۴/۷۸) و بیشتر از امتیاز حسی ماست تولید شده توسط کشت آغازگر DSM (پذیرش کلی = ۳/۹۰) بود. ترکیب‌های S_3L_1 ، S_4L_2 ، S_6L_2 از جهت تمام ویژگی‌های مورد ارزیابی دارای امتیاز بیشتری نسبت به دو نمونه شاهد بودند (جدول ۵). همچنین در شکل ۴ مقایسه ویژگی‌های حسی نمونه‌ها با دو نمونه شاهد نشان داده شده است

عبارست از نیروی لازم جهت جدا کردن ماده غذایی از سقف دهان طی خوردن غذا می‌باشد و به عبارت دیگر کار لازم برای غلبه بر نیروهای چسبندگی بین سطح ماده غذایی و سایر سطوح در تماس با ماده غذایی می‌باشد. در منحنی TPA عبارت است از سطح منفی منحنی اول (ناحیه Area3) بر حسب نیوتن در متر یا ثانیه می‌باشد (Bourne, 2002). نتایج نشان داد که نمونه‌ها از جهت ویژگی چسبندگی با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌دار نداشتند ($P > 0.05$). پیوستگی عبارت است از مقدار تغییر شکل نمونه قبل از گسیختگی طی فشردگی دندان‌های آسیاب و یا به عبارت دیگر شدت پیوندهای داخلی تشکیل‌دهنده بدنه محصول و بیانگر چگونگی تحمل تغییر شکل در دومین سیکل بارگذاری نسبت به تغییر شکل در اولین سیکل بارگذاری می‌باشد. برابر است با سطح زیر منحنی سیکل دوم نسبت به سطح زیر منحنی سیکل اول Area2/Area1 و بدون واحد می‌باشد (Bourne, 2002). پیوستگی نمونه‌ها در محدوده ۰/۳۱۲۶۳۰-۰/۴۲۴۹۳۷ قرار داشت. میزان پیوستگی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری با هم متفاوت بودند، کمترین مقدار پیوستگی مربوط به ترکیب S_3L_2 و S_6L_1 و بیشترین مقدار پیوستگی





شکل ۴- مقایسه ویژگی‌های حسی نمونه‌ها با دو نمونه شاهد.

- شکل (A): مقایسه ویژگی‌های حسی ترکیب استرپتوکوکوس ترموفیلوس کد S₂ با سه سویه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس کد L₁، L₂ و L₃
 (B): مقایسه ویژگی‌های حسی ترکیب استرپتوکوکوس ترموفیلوس کد S₁ با سه سویه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس کد L₁، L₂ و L₃
 (C): مقایسه ویژگی‌های حسی ترکیب استرپتوکوکوس ترموفیلوس کد S₄ با سه سویه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس کد L₁، L₂ و L₃
 (D): مقایسه ویژگی‌های حسی ترکیب استرپتوکوکوس ترموفیلوس کد S₃ با سه سویه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس کد L₁، L₂ و L₃
 (E): مقایسه ویژگی‌های حسی ترکیب استرپتوکوکوس ترموفیلوس کد S₅ با سه سویه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس کد L₁، L₂ و L₃
 (F): مقایسه ویژگی‌های حسی ترکیب استرپتوکوکوس ترموفیلوس کد S₆ با سه سویه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس کد L₁، L₂ و L₃

جدول ۵- ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی، حسی و بافت نمونه‌های شاهد

ویژگی‌های مورد بررسی	ماست شاهد	ماست شاهد	ویژگی‌های مورد بررسی	ماست شاهد	ماست شاهد
pH	۴/۳۲±۰/۰۲۱	۴/۵۲±۰/۰۵۱	زمان تخمیر (ساعت)	۵/۳۰	۴/۳۰±۰
اسیدیته (% اسید لاکتیک)	۰/۷۴±۰/۰۰۶	۰/۷۵±۰/۰۲۰	رنگ	۴/۴۱±۰/۰۴۰	۵±۰
آب‌اندازی	۴۸/۲۶±۲/۱۲	۴۳/۸۹±۰/۰۵۱	بافت	۴/۲۸±۰/۰۵۳۵	۴/۶۰±۰/۰۱۵
سفتی (N)	۴/۰۳۱۱۹±۰/۱۶۰	۳/۷۶۲۳۶±۰/۰۳۳	بو	۴/۰۴۰±۰/۰۵۹	۴/۶۲±۰/۰۳۶
پیوستگی	۰/۳۲۷۶۷۱±۰/۰۱۷	۰/۴۴۶۹۵۲±۰	طعم	۳/۹۰±۰/۰۵۰	۴/۷۸±۰/۰۲۱
صمغیت (N)	۱/۳۱۹۱۷±۰/۰۲۳	۱/۵۹۴۷۶±۰/۰۶۴	ظاهر	۳/۹۲±۰/۰۲۵	۴/۷۲±۰/۰۲۵
چسبندگی (Nm)	۰/۰۰۳۳۱۹±۰	۰/۰۰۳۷۹۸۳۶±۰	پذیرش کلی	۳/۹۰±۰/۰۲۶	۴/۷۸±۰/۰۴۴

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه انتخاب آغازگر در تولید ماست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و مطالعه کشت‌های آغازگر بومی کمک به تداوم تولید فرآورده‌های سنتی و نزدیک به ذائقه مصرف‌کننده ایرانی می‌نماید، همچنین منجر به حفظ ذخایر ژنتیکی و میکروبی کشور و ایجاد کسب و کار و جلوگیری از خروج ارز می‌گردد. لذا بر آن شدیم تا در این پژوهش به تعیین خصوصیات رئولوژیکی، حسی و فیزیکیوشیمیایی ماست‌های تولید شده توسط آغازگرهای بومی ایزوله شده از ماست‌های

نواحی خراسان و مقایسه‌ی آن‌ها با ماست‌های تولید شده توسط آغازگر تجاری بپردازیم.

در ابتدا با استفاده از ۶ سویه استرپتوکوکوس ترموفیلوس و ۳ سویه لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس ۱۸ نمونه ماست تولید شد، از نظر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی مورد آنالیز قرار گرفتند و سپس با ماست‌های تولید شده توسط آغازگر تجاری مقایسه شدند نتایج مطالعه حاضر نشان داد:

از بین ۱۸ ترکیب مورد مقایسه با ماست‌های تولید شده توسط آغازگر تجاری، آن دسته از نمونه‌هایی که در آن‌ها لاکتوباسیلوس

استرپتوکوکوس‌های S₁ و S₅، S₆ نتایج خوبی را نشان دادند همچنین سرعت تولید اسید در تمام ۶ سویه/استرپتوکوکوس ترموفیلوس زیر ۵ ساعت بود و سویه ی کد S₆ نیز در بین سایرین کمترین زمان جهت تولید اسید کافی برای تخمیر ماست را داشت.

باعنایت به آنچه گفته شد مقایسه بین نمونه‌های تولید شده توسط آغازگرهای بومی و آغازگرهای تجاری نشان داد که این آغازگرهای بومی از نظر خصوصیات حسی، رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی مانند آغازگرهای تجاری عمل می‌کنند و مقبولیت نمونه‌های تولید شده توسط مصرف کننده مانند نمونه‌های تولید شده توسط آغازگرهای تجاری بوده است.

در پایان سویه‌های/استرپتوکوکوس ترموفیلوس با کدهای S₂، S₅، S₁، S₆ و سویه‌های لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس با کد L₁ و L₂ در قالب ترکیب‌های S₁L₁، S₂L₂، S₅L₁، S₄L₂، S₆L₂ دارای پتانسیل کافی جهت به‌کارگیری آن‌ها در صنعت به‌عنوان آغازگر ماست فراسودمند هستند.

دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس کد L₃ به‌کار رفته بود دارای امتیاز حسی پائین‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها و ماست‌های تولیدی توسط آغازگر تجاری بودند و در بین مصرف کننده‌ها مقبولیت کمتری داشتند همچنین از نظر جهات دیگری همانند: فعالیت پروتئولیتیک، زمان تخمیر و... نتایج ضعیفی را از خود نشان دادند به‌طوری که فرآیند تخمیر ترکیب S₃L₃، ۶ ساعت به طول انجامید. این لاکتوباسیلوس در مقایسه با دو لاکتوباسیلوس دیگر دارای فعالیت پروتئولیتیکی پائین‌تری بود، بنابراین ۶ ترکیب ایجاد شده با لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس کد L₃ حذف گردیدند سپس از بین ۱۲ نمونه باقی مانده با توجه به نتایج آزمون‌های خصوصیات حسی و فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی در مقایسه با آغازگرهای صنعتی و همچنین نتایج حاصل از آزمون پروتئولیتیک نشان داد که لاکتوباسیلوس‌های کد L₁ و L₂ و تمام استرپتوکوکوس ترموفیلوس‌های مورد بررسی دارای فعالیت پروتئولیتیک بالایی بودند و/استرپتوکوکوس ترموفیلوس کد S₆ نسبت به سایرین فعالیت بیشتری را نشان داد و از حیث تولید گابا

منابع

- Amani, E., Eskandari, M H., Shekar Forosh, S., Hanif Pour, M A. 2015. Investigation the effects of proteolytic activity and exopolysaccharide production by native starter bacteria on technological and organoleptic properties of yogurts. *Food Science and Technology*. 13 (58):15-29.
- Birollo, G.A., Reinheimer, J.A., and Vinderola, C.G. 2000. Viability of lactic acid microflora in different types of yoghurt. *Journal of Food Research International*, 33: 799–805.
- Bourne M.C. 2002. Food Texture and Viscosity: *Concept and Measurement*. Academic press. London.
- Burkus, Z., and Temelli, F. 2005. Rheological properties of barley b-glucan. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 59: 459–465.
- BumPark, k., & Oh, S.H. 2007. Production of yogurt with enhanced levels of gamma-aminobutyric acid and valuable nutrients using lactic acid bacteria and germinated soybean extract. *Bioresource Technology*, 98, 1675-1679.
- Çelik, E.F. 2007. Determination of aroma compounds and exopolysaccharide formation by Lactic acid bacteria isolated from traditional yoghurt. MSc Thesis, Izmir institute of technology.
- Chieh Wang, Y., Chui Yu, R. and Chun, C.C. 2002. Growth and survival of bifidobacteria and lactic acid bacteria during the fermentation and storage of cultured soymilk drinks. *Journal of Food Microbiology*, 19: 501–508.
- Corrieu, G., and Béal, C. 2016. Yogurt: The Product and its manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*, 617-624.
- Cruz, N.S., Capellas, M., Jaramillo, D.P., Trujillo, A.J., Guamis, B., and Ferragut, V. 2009. Soymilk treated by ultra-high pressure homogenization: acid coagulation properties and characteristics of a soy-yoghurt product. *Journal of Food Hydrocolloids*, 23: 490–496.
- Dave, R., and Shah, N. 1997. Effect of level of starter culture on viability of yoghurt and probiotic bacteria in yoghurts. *Food Australia Journal*, 49: 164–168.
- De Vuyst, L. 2000. Technology aspects related to the application of functional starter cultures, *Food Technology and Biotechnology*, 38(2): 105–113.
- Dincel, S. 2012. Chemical and rheological properties of yoghurt produced by lactic acid cultures isolated from traditional Turkish yoghurt. A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of Middle East Technical University, Turkey.
- Domagala, J. 2008. Sensory evaluation and rheological properties of yoghurts prepared from goat, cow and sheep milk. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 11 (3): art. 4.
- Donohue, D.C. 2004. Safety of Novel Probiotic Bacteria. In: Lactic Acid Bacteria–Microbiological and functional aspects, 3rd edition. Salminen, S., von Wright, A., Ouwehand, A. Marcel Dekker, Inc. NY, USA.

- Ebdali, S., and Motamedzadegan, A. 2013. The effect of replacement for part of dry material with gelatin to functional properties of fat-free's set yogurt. *Journal of Food Industry*, 2: 221-229. (In Farsi).
- Erkus, O., Okuklu, B., Yenidunya, A.F., and Harsa, S. 2014. High genetic and phenotypic variability of *Streptococcus thermophilus* strains isolated from artisanal Yuruk yoghurts. *LWT - Food Science and Technology*, 58: 348-354.
- Eskandari, m., roshanzadeh, s., jafarpour, d., shokrforosh, sh.1390. Investigation of important industrial technological features of isolated starter bacteria from native Iranian yogurts. Twentieth national congress of food science and technology.
- Fadela, C., Abderrahim, C., and Ahmed, B. Sensorial and Physico-Chemical Characteristics of Yoghurt Manufactured with Ewe's and Skim Milk. 2009. *Journal of Dairy & Food Sciences*, 4(2): 136-140.
- Franciosi, E., Settanni, L., Cavazza, A., and Poznanski, E.2009. Biodiversity and technological potential of wild lactic acid bacteria from raw cows' milk. *International Dairy Journal*, 9: 3-11.
- Forgani, S., Peighambardoust, S. H., Hesari, J., Rezai Mokarram, R.2018. Effect of adding millet milk on viability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5, starter bacteria and some physicochemical characteristics of the probiotic yogurt. *Journal of Food Science & Technology*. 76(15): 207-219.
- Gauche, G., Tomazi, T., Barreto, P.L.M., Ogliari, P.G., and Bordignon-Luiz, M.T. 2009. Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT - Food Science and Technology*, 42(1): 239-243.
- Ghorbani Hasansaraei, A. 1393. Yogurt fortification with different sources of omega3 and evaluation of its physicochemical and Sensory properties during storage. PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad.
- Güler-Akın, M.B., and Akın, S.M. 2007. Effects of cysteine and different incubation temperatures on the microflora, chemical composition and sensory characteristics of bio-yogurt made from goat's milk. *Journal of Food Chemistry*, 100: 788-793.
- Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinali, P., and Bütikofer, U.P. 2009. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, 19: 107-115.
- Habibi Najafi , M.B., Razavi, M.A., Mazaheri Tehrani, M.1377. Yogurt knowledge and technology: our knowledge (Vol. 1). Richard Kenneth Robinson , Tamim . Jihad Daneshgahi (Ferdowsi University of Mashhad).
- Hajimohammadi Farimani, R., Habibi Najafi, M.B., Fazly Bazzaz, B.S., Edalatian, M.R. Bahrami, A.R., Belén Flórez, A., Mayo, B. 2016. Identification, typing and functional characterization of dominant lactic acid bacteria strains from Iranian traditional yoghurt. *Journal of Eur Food Res Technol*, 242: 517-526.
- Hajimohammadi Farimani, R. 1394. Isolation, phenotypic and genotypic characterization of lactic acid bacteria from artisanal yoghurts in khorasan and study the technological properties of yoghurt Producing strains. PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad.
- Hagiwara, H., Seki, T., & Ariga, T. 2004. The Effect of Pre-germinated Brown Rice Intake on Blood Glucose and PAI-1 Levels in Streptozotocin induced Diabetic Rats. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 68(2), 444-447.
- Hanh, T.H.N., Ong, L., Kentish, S.E., and Gras, S.L. 2015. Homogenisation improves the microstructure, syneresis and rheological properties of buffalo yoghurt. *International Dairy Journal*, 46: 78-87.
- Han, X., Zhang, L., Yu, P., Yi, H., and Zhang, Y. 2014. Potential of LAB starter culture isolated from Chinese traditional fermented foods for yoghurt production. *International Dairy Journal*, 34: 247-251.
- Huang, J., Mei, L., Sheng, Q., Yao, S., & Lin, D. 2007. Purification and Characterization of glutamate decarboxylase of *Lactobacillus brevis* CGMCC 1306 isolated from fresh milk. *Chemical Engineering*. 15(2), 157-61.
- Innocente, N., Biasutti, M., Rita, F., Brichese, R., Comi, G., and Iacumin, L. 2016. Effect of indigenous *Lactobacillus rhamnosus* isolated from bovine milk on microbiological characteristics and aromatic profile of traditional yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, 66: 158-164.
- Isanga, J., and Zhang, G. 2009. Production and evaluation of some physicochemical parameters of peanut milk yoghurt. *Journal of Food Science and Technology*, 42(6): 11321138.
- Isleten, M., and Karagul-Yuceer, Y. 2006. Effects of dried dairy ingredients on physical and sensory properties of non fat yogurt. *Journal of Dairy Science*, 89(8): 2865-2872.
- Kailasapathy, K. 2006. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *Journal of Food Science and Technology*, 39(10):1221-1227.
- Karazhyan, H., Salari, R.2011. Comparison of physic-chemical, rheological and sensory properties of yoghurt made from fresh cow's milk and powdered milk. *Journal of Food Science and Technology*, 2(8): 11-19.
- Lacroix, N., St-Gelais, D., Champagne, C.P., and Vuilleumard, J.C. 2013. Gamma-aminobutyric acid-producing abilities of lactococcal strains isolated from old-style cheese starters. *Journal of Dairy science and Technology*, 93: 315-327.
- Lee, W., and Lucey, J. 2010. Formation and physical properties of yogurt. Asian-Aust. *Journal of Animal Science*, 23: 1127-1136.

- Letort, C., Nardi, M., Garault, P., Monnet, V., and Juillard, V. 2002. Casein utilization by *Streptococcus thermophilus* results in a diauxic growth in milk. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, 68: 3162-3165.
- Li, H., & Cao, Y. 2010. Lactic acid bacterial cell factories for gamma-aminobutyric acid *Amino Acids*, 39, 1107-1116.
- Lucey, J.A. 2001. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. *Journal of Food Hydrocolloids*, 15: 603-608.
- Lucey, J.A. 2002. Formation and physical properties of milk protein gels. *Journal of Dairy Science*, 85(2): 281-294.
- Marshall, V.M., and Rawson, H.L. 1999. Effects of exopolysaccharide producing strains of thermophilic lactic acid bacteria on the texture of stirred yogurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 34: 137-143.
- Nespolo, C.R. and Brandelli, A. 2010. Production of bacteriocin-like substances by lactic acid bacteria isolated from regional ovine cheese. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41: 1009-1018.
- Ng, E W., Yeung, M., and Tong, P S. 2011. Effects of yogurt starter cultures on the survival of *Lactobacillus acidophilus*. *International Journal of Food Microbiology*, 145(1): 169-175.
- Oliveira, M.N., Sodini, I., Remeuf, F. and Corrieu, G. 2001. Effect of milk supplementation and culture composition on acidification, textural properties and Microbiological stability of fermented milks containing probiotic bacteria. *Journal of International Dairy*, 11: 935-942.
- Pimentel, T.C., Garcia, S., and Prudencio, S.H. 2012. Effect of long-chain inulin on the texture profile and survival of *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* in set yoghurts during refrigerated storage. *International Journal of Dairy Technology*, 65(1):104-110.
- Pourahmad, R., and Mazaheriassadi, M. 2005. Yoghurt production by Iranian native starter cultures *Nutrition & Food Science*, 35(6): 410-415.
- pourahmad, R., and Mazaheriassadi, M. 2010. Evaluation of acetaldehyde content in yogurts produced by native microbial strains. *Journal of Food Technology and Nutrition*. 7 (26); 2-9.
- Qiyamati Yazdi, F., 1391. Population diversity of lactic acid bacteria in south Khorasan, Iran. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources - Faculty of Agriculture.
- Ramchandran, L., and Shah, N.P. 2009. Effect of exopolysaccharides on the proteolytic and angiotensin-I converting enzyme-inhibitory activities and textural and rheological properties of low-fat yogurt during refrigerated storage. *Journal of Dairy Science*, 92(3): 895-906.
- Ramchandran, L., and Shah, N.P. 2010. Characterization of functional, biochemical and textural properties of symbiotic low-fat yogurts during refrigerated storage. *Journal of Food Science and technology*, 43: 819-827.
- Rajiv, I., and Negendra, P. Sh. 1997. Viability of Yoghurt and Probiotic Bacteria in Yoghurts Made from Commercial Starter Cultures. *International Dairy Journal*, 7: 31-41.
- Robinson, R.K. 2007. Manufacture yoghurt and fermented milk. *International Dairy Journal*. 60(3): 237-247.
- Robinson, R.K. 2005. *Dairy Microbiology Handbook: The Microbiology of Milk and Milk Products*. John Wiley & Sons.
- Sanders, JW, Leenhouts, K., Burghoorn, J., Brands, JR., Venema, G., & Kok, J.A. 1998. Chloride-inducible acid resistance mechanism in *Lactococcus lactis* and its regulation. *Molecular Microbiology*, 27(2), 299-310.
- Serra, M., Trujillo, A.J., Guamis, B., and Ferragut, V. 2009. Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high pressure homogenization-treated milk. *Journal of Food Hydrocolloids*, 23(1): 82-91.
- Shaker, R.R., Jumah, R.Y., and Abu-Jdayil, B. 2000. Rheological properties of plain yoghurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of milk. *Journal of Food Engineering*, 44: 175-180.
- Shoji, A.S., Oliveira, A.C., Balieiro, J.C.C., Freitas, O., Thomazini, M., Heinemann, R.J.B., Okuro, P.K., and Favaro, C.S. 2013. Viability of *L.acidophilus* microcapsules and their application to buffalo milk yoghurt. *Journal of Food and Bioproducts Processing*, 91: 83-88.
- Soomro, A. H., and Masud, T. 2008. Selection of yoghurt starter culture from indigenous isolates of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* on the basis of technological properties. *Journal of Annals of Microbiology*, 58 (1): 67-71.
- Sybesma, W., Hugenholtz, J., de Vos, W.M. Smid, E.J. 2006. Safe use of genetically modified lactic acid bacteria in food. Bringing the gap between consumers, green groups, and industry. *Electronic journal of Biotechnology*, 9(4): 424-448.
- Tamime, A.Y., Robinson, R.K. 2007. *Yoghurt: Science and Technology*. 3rd ed. Woodhead Publishing. Cambridge, UK.
- Ueno, H. 2000. Enzymatic and structural aspects on glutamate decarboxylase. *Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 10, 67-79.

- Xanthopoulos, V., Petridis, D., Tzanetakis, N. 2001. Characterization and classification of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* strains isolated from traditional Greek yoghurts. *Journal of Food Science*. 66:747-752.
- Yang, M., and Li, L. 2010. Characteristics of Probiotic Soy Yogurt, *Journal of Food technology Biotechnology*, 48(4): 490-496.
- Yvon, M. 2006. Key enzymes for flavour formation by lactic acid bacteria. *Australian Journal of Dairy Technology*, 61: 80-96.
- Zhao, Q.Z., Wang, J.S., Zhao, M.M., Jiang, Y.M., and Chun, C. 2006. Effect of Casein Hydrolysates on Yogurt Fermentation and Texture Properties during Storage. *Journal of Food Technology and Biotechnology*. 44 (3): 429-434.



Comparison of technological characteristics of native starter isolates from traditional Khorasan yogurts with commercial starter in yogurt production

F. Barmak¹, M. B. Habibi Najafi^{2*}, R. H. Farimani³, M. R. Edalatian⁴

Received: 2020.05.10

Accepted: 2020.07.29

Introduction: One of the most important factors in producing yogurt is choosing the right starter. Native isolates of any country are among the genetic resources of that country, which play a major role in the production and development of the organoleptic properties of fermented products. Therefore, it seems necessary to study the industrial applications of native isolates. In this study, the production of yogurt was investigated by using native starter isolates from traditional Khorasan yogurts and its comparison with yogurts produced with two types of commercial starters.

Materials and methods: Six strains of *Streptococcus thermophilus* and three strains of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* isolated from traditional Khorasan yogurts were selected. The proteolytic activity of *Streptococcus thermophilus* strains was determined according to the method of Erkus et al.(2012) and the proteolytic activity of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* was determined according to the method of Nespolo et al.(2010). Milk acidification activity by all examined strains was evaluated according to the method of Erkus et al.(2012). The production property of gamma-aminobutyric acid of native isolates was also evaluated using the method of Lacroix et al. (2013). Yogurt was produced using commercial starters and native isolates. Acidity and pH were measured according to Iranian National Standard No. 2852. Syneresis of yogurt samples was measured using centrifugation according to Çelik (2007) method. In order to measure textural properties, a combination of backward extrusion techniques and Texture Profile Analysis (TPA) was used (Yang et al, 2010). Sensory characteristics of yogurt samples were evaluated by 20 panelists using five-point hedonic scale. This study was conducted based on factorial experiment using a completely randomized design. Statistical analysis of data was performed using Minitab Statistical Software (version 17) and ANOVA. Comparison of means was performed using Tukey's test at the significant level ($P < 0.05$).

Results and discussion: The results of proteolytic activity of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* showed that the L₃ code was weaker than the other two strains. All *Streptococcus thermophilus* strains were positive protease. All *Streptococcus thermophilus* strains of the study decreased the pH of the milk to 4.6 in less than five hours, and *Streptococcus thermophilus* strain S₆ code, as the fastest acid producer, decreased the pH of the milk to 4.6 within 3 and half hours (Figure 2). The results of GABA production showed that among the *Streptococcus thermophilus* strains, S₁, S₅ and S₆ codes had distinct blue discoloration. Among the *Lactobacillus* strains, except the L₃ strain, two other strains produced green color. Of the 18 samples of the yoghurt, S₅L₂ and S₂L₂ samples showed the highest decrease in pH and increased in acidity compared to other samples after being stored refrigerated overnight ($P < 0.05$). The other samples had the same pH and acidity changes as the control samples after overnight refrigeration. The results show the ability of yogurt production by native starters to compete with those produced by commercial starters in terms of technological characteristics. Thus, samples with codes S₂L₂, S₃L₁, S₃L₂, and S₁L₁ showed less Syneresis of yogurt than commercial starters. This decrease in the Syneresis of yogurt might due to the possibility of exopolysaccharide production by these strains. Textural characteristics of yogurt samples were the hardness of the samples in the range of 3 to 4 N, which was significantly different ($P < 0.05$). The lowest hardness was observed for the S₃L₃, which can be attributed to the poor proteolytic activity of the strain. L₃, S₆L₂, S₃L₂ and S₂L₂ had the highest hardness compared to other compounds and control samples ($P < 0.05$). This differences in the hardness of the samples can be attributed to the possible production of some metabolites by the strains. There was no statistically significant difference in the adhesion properties of the samples ($p < 0.05$). Considering the sensory evaluation scores, it was found that in all respects, S₃L₃ had the lowest score among the other samples ($P < 0.05$). This was in good correlation with the results of the textural properties of the test. Therefore, this compound was eliminated compared to the control samples. Finally, considering the proteolytic behavior of the strains and the ability to produce acid and GABA, as well as the sensory, rheological and physicochemical properties of 18 samples in comparison to the two control samples, *Streptococcus thermophilus* strains with codes S₄, S₂, S₅, S₁, S₆, and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* strains with codes L₁ and L₂ have the potential to be used as commercial starters in the form of compounds S₁L₁, S₂L₂, S₅L₁, S₆L₂, S₄L₂.

Keywords: Syneresis, Acidity, Native starter, Yogurt, Texture profile.

1, 2 and 4. MSc Student, Professor and Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3. Department of Food Science & Technology, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman.

(Corresponding Author Email: habibi@um.ac.ir)

مقاله پژوهشی

تاثیر پوشش ژل آلوهورا و کنسانتره پروتئین آب پنیر بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی فیله مرغ سرخ شده

خدیجه سادات طباطبایی^۱ - محمد فاضل^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

چکیده

با رشد آگاهی مصرف کنندگان تقاضا برای محصولات غذایی با بافت، طعم و مزه یکسان اما با کالری و محتوای چربی پایین تر افزایش یافته است. از این جهت استفاده از روش های برای کاهش جذب روغن ضمن حفظ ویژگی های مطلوب امری ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش پوشش های هیدروکلوئیدی شامل ژل آلوهورا در سه سطح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد (w/v) و کنسانتره پروتئین آب پنیر (WPC) در سه سطح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد (w/v) برای پوشش دهی مرغ طی فرآیند سرخ کردن عمیق در روغن آفتابگردان در دمای ۱۴۰ درجه سانتی گراد در سه زمان ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات فیزیکی شیمیایی مورد اندازه گیری در نمونه های سرخ شده شامل درصد جذب پوشش، افت وزن، محتوای رطوبت، جذب روغن، آزمون بافت سنجی و میزان تغییر رنگ بود. نتایج نشان داد نمونه های پوشش دهی شده به دلیل افزایش ویسکوزیته محلول پوششی، جذب محلول پوششی و در نتیجه جذب پودر سوخاری را نسبت به نمونه بدون پوشش افزایش دادند. پوشش دهی با مواد هیدروکلوئیدی براساس خاصیت سدکنندگی مانع از خروج رطوبت شد و به دنبال آن افت وزن کاهش و با توجه به ارتباط معکوس میان محتوای آب و روغن میزان جذب روغن کاهش یافت. از بین پوشش های مورد مطالعه بیشترین میزان حفظ رطوبت و کمترین میزان جذب روغن مربوط به نمونه پوشش دهی شده با ۴/۵ درصد آلوهورا و ۷/۵ درصد WPC بود. با افزایش غلظت آلوهورا سفتی نمونه ها کاهش یافت. ولی با افزایش غلظت WPC میزان سفتی نمونه ها افزایش یافت. افزایش زمان سرخ کردن سبب کاهش رطوبت و افزایش جذب روغن، افت وزن و سفتی نمونه ها شد. پوشش دهی سبب کاهش میزان روشنایی و قرمزی (a^*) و افزایش زردی (b^*) و اندیس قهوه ای شدن شد و با افزایش زمان رنگ محصول تیره تر شد که با واکنش مایلارد همبستگی داشت. در مجموع می توان نتیجه گیری کرد که پوشش دهی با ژل آلوهورا و WPC بر بهبود خصوصیات فیزیکی شیمیایی گوشت مرغ سرخ شده موثر است.

واژه های کلیدی: مرغ، سرخ کردن عمیق، پوشش دهی، آلوهورا، کنسانتره پروتئین آب پنیر

مقدمه

و مشاوران تغذیه به عنوان جایگزینی برای گوشت قرمز (گوشت گاو و گوشت خوک) توصیه می شود که به طور معمول چربی اشباع بیشتری دارند (Shahrezaee et al., 2018). در فرآیند پخت به طریق سرخ کردن عمیق چربی ها و روغن ها به عنوان محیط واسطه انتقال حرارت عمل کرده حرارت را از سطح داغ دستگاه سرخ کن به سطوح سردتر ماده غذایی غوطه ور در روغن می رساند. در هنگام سرخ کردن، آب از ماده غذایی تبخیر و بافت خارجی غذا با بافت داخلی آن تفاوت پیدا می کند روغن نیز به وسیله جذب، جذب سطحی یا عمل متقابل شیمیایی، در غذایی سرخ شده یا پوشش آن نفوذ کرده پوسته ای ترد و شکننده به دور غذا تشکیل می شود (مالک، ۱۳۸۴). در طول سرخ کردن عمیق روغن نه تنها به عنوان محیط گرمایشی عمل می کند بلکه به مواد غذایی جذب شده که در نتیجه

محصولات سرخ شده به صورت گسترده ای در سرتاسر جهان مصرف می شوند. سالانه کمپانی های بزرگ تولیدکننده غذاهای آماده حجم انبوهی از غذاهای سرخ شده نظیر خلال های سیب زمینی، مرغ سرخ شده و ناگت های سرخ شده را تولید می کنند (Mellema, 2003). غذاهای تهیه شده با مرغ یکی از محبوب ترین غذاهای سرو شده در رستوران ها و فست فودها هستند (Soorgi et al., 2012). گوشت مرغ شامل مقدار نسبتاً کم چربی و مقدار زیادی پروتئین با کیفیت بالا است که حاوی اسید آمینه های ضروری مانند تریپتوفان، لیزین و ترئونین است. علاوه بر این، محتوای چربی در گوشت مرغ بیشتر از نوع غیراشباع مانند اسید لینولئیک است که مصرف کنندگان را در مقابل بیماری های قلبی محافظت می کند. بنابراین مرغ معمولاً توسط پزشکان

(* - نویسنده مسئول : (Email: mfazeln@yahoo.com

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.87283

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

عمیق ناگت مرغ را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و زانتان باعث کاهش قابل توجه جذب روغن نسبت به سایر نمونه‌ها و نمونه کنترل شد. Dogan و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی اثر لعاب‌های حاوی پروتئین‌های مختلف ایزوله پروتئین سویا^۴ (SPI)، ایزوله پروتئین آب پنیر^۵ (WPI) و پوشش آلومین تخم مرغ^۶ (EA) بر کیفیت ناگت مرغ سرخ شده پرداختند. WPI در غلظت ۳ درصد موثرترین نتیجه در بهبود خواص کیفی ناگت مرغ سرخ شده را نشان داد. با اضافه کردن ۳ درصد WPI به پوشش، محصولی سفت‌تر و کرانچی‌تر با تیره‌ترین رنگ و کمترین میزان روغن به دست آمد. Freitas و همکاران (۲۰۰۹) به مطالعه اثر استفاده از پوشش‌های خوراکی از ۳ هیدروکلوئید مختلف (پکتین، پروتئین آب پنیر و پروتئین ایزوله سویا) بر روی میزان جذب رطوبت و جذب روغن در طی فرآیند سرخ کردن عمیق یک محصول منجمد تهیه شده از آرد کاساوا و پوره کاساوا پرداختند. نتایج نشان داد که پروتئین آب پنیر بهترین نتیجه را در رابطه با جذب روغن داشت که کاهش ۲۷ درصدی برای محصول پوره کاساوا را نشان داد. Sharifimehr و همکاران (۲۰۱۹) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی میگوی پوشش داده شده با نانوامولسیون را بعد از سرخ کردن عمیق و در طی فریز شدن مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور سه غلظت (صفر، ۱ و ۲ درصد) از پودر ژل آلونهورا به عنوان هیدروکلوئید عملکردی و سه غلظت (صفر، ۱/۵ و ۳ درصد) از اکونل^۶ (ماده موثر رزماری) به عنوان ترکیب آنتی‌اکسیدان استفاده شد. نتایج نشان داد که جذب روغن از حدود ۱۵ درصد در نمونه کنترل (بدون پوشش) به حدود ۵ درصد در نمونه پوشش‌دهی شده کاهش یافت، همچنین افت وزن از حدود ۶۱/۵۲ درصد در نمونه کنترل به حدود ۲۸/۶۸ درصد در نمونه پوشش‌دهی شده کاهش یافت. بهترین نتایج برای نمونه‌های میگوی پوشیده شده با ۲ درصد نانوامولسیون آلونهورا و ۳ درصد ماده موثر رزماری ثبت شد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف ژل آلونهورا و کنسانتره پروتئین آب پنیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (جذب روغن، افت رطوبت، بافت، رنگ) گوشت مرغ سرخ شده، در طی زمان‌های مختلف سرخ کردن است.

مواد و روش‌ها

مرغ تازه (اصفهان مرغ)، پودر ژل آلونهورا (داروسازی باریج اسانس)، پودر کنسانتره آب پنیر (هیلمار آمریکا)، پترولیوم اتر (پارس شیمی ایران)، نان باگت، نمک و فلفل جهت آماده‌سازی پودر سوخاری و روغن سرخ کردنی آفتابگردان (اویلا) مورد استفاده قرار گرفت.

میزان کل چربی را افزایش می‌دهد (Ananey-Obiri, 2018). از دیگر اثرات نامطلوب این فرآیند که در نتیجه دمای بالا و حضور اکسیژن ایجاد می‌شود تخریب ترکیبات مغذی و تشکیل مولکول‌های سمی در روغن یا ماده غذایی می‌باشد (Dana et al., 2006). عوامل متعددی در میزان جذب روغن در مواد غذایی سرخ شده تاثیر گذارند که می‌توان به دو دسته طبقه بندی کرد: دسته اول به ویژگی‌های ذاتی ماده غذایی سرخ شده همانند ترکیبات ماده غذایی، میزان رطوبت، شکل، تخلخل، کشش سطحی اولیه و اندازه پوسته بستگی دارد. دسته دوم وابسته به عوامل خارجی است که قسمتی از فرآیند سرخ کردن هستند، مانند ترکیب و کیفیت روغن، دما و زمان سرخ کردن و روش‌های سرخ کردن (Mah, 2008). کاربرد پوشش خوراکی در کاهش جذب چربی در طول سال‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد پژوهش قرار گرفته است. ویژگی مشترک پوشش‌های خوراکی که در سرخ کردن استفاده می‌شود آبگریزی و غوطه وری در روغن می‌باشد که با ویژگی ژله‌ای شدن در اثر گرما و اتصالات عرضی قابل توضیح است. این ویژگی به بهبود ارزش تغذیه‌ای مواد خوراکی با کاهش جذب روغن در حین سرخ کردن کمک می‌کند. این مواد به بهبود کیفیت حسی کمک می‌کنند و همین‌طور می‌توانند به عنوان حامل برای انتقال ترکیبات مفید مثل مواد ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدان‌ها به کار روند، پوشش خوراکی را می‌توان به وسیله روش‌هایی مانند اسپری کردن و غوطه‌ور کردن مواد غذایی در محلول پوشش استفاده کرد (Ananey-Obiri, 2018).

ژل آلونهورا حاوی ترکیبات پلی‌ساکاریدی مختلف نظیر پکتین، سلولز و همی سلولز، گلوکومانان^۱، آسمانان^۲ و مانوز می‌باشد، به‌طور کلی، ژل آلونهورا به دلیل تعداد زیادی منابع پلی‌ساکاریدی با فواید سلامتی بخش، در دسته مواد غذایی فراسودمند طبقه‌بندی شده است. بنابراین با توجه به خواص ایجادکننده ژل و سلامتی بخش، گیاه آلونهورا به عنوان پوشش خوراکی بر پایه کربوهیدرات امروز در فرآوری مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Boghani et al., 2012).

پروتئین آب پنیر محصولی از فرآیند تولید پنیر است و می‌تواند ژل تشکیل دهد از این رو به عنوان مانع در برابر نفوذ چربی در سرخ کردن عمیق استفاده می‌شود. از پروتئین‌های بسیاری تشکیل شده است، اما پروتئین اصلی آن بتا لاکتوگلوبولین (La-β) (۵۵-۵۰ درصد از کل پروتئین‌ها). پروتئین آب پنیر به‌طور مشخص وقتی تحت حرارت قرار می‌گیرد ژل تشکیل می‌دهد و این امر به کاهش تبخیر رطوبت کمک می‌کند (Ananey-Obiri, 2018).

Sahin و همکاران (۲۰۰۵) تاثیر انواع مختلف صمغ (هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، گوار، زانتان، صمغ عربی) بر کیفیت سرخ کردن

4 Whey protein isolate
5 Egg albumen
6 Eugenol

1 Glucomannan
2 Acemannan
3 Soy protein isolate

تهیه پودر سوخاری

نان باگت خریداری شده سپس به ابعاد کوچک تقسیم و به منظور خشک شدن درون فر با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. نان‌ها بعد از خشک شدن توسط همزن برقی به‌طور کامل آسیاب شده و ۳ درصد نمک و ۱ درصد فلفل به آن اضافه گردید (Mahanand et al., 2009).

تهیه محلول‌های پوشش

ژل آلوه‌ورا با غلظت‌های ۱/۵، ۳، ۴/۵ درصد (w/v) و WPC با غلظت‌های ۲/۵، ۵، ۷/۵ درصد (w/v) در داخل یک ارلن توزین گردید و با آب مقطر (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و روی استیرر قرار گرفت تا محلولی یکنواخت به‌دست آید (Mahanand et al., 2009).

تهیه و آماده‌سازی سینه‌های مرغ

نمونه‌ها از مرغ گوشتی درشت با وزن ۲۰۰۰-۱۸۰۰ گرم و کشتار روز انتخاب شد سپس فیله سینه جداسازی و به‌صورت بسته‌بندی در یخ به آزمایشگاه منتقل شد. فیله سینه با آب سرد شستشو گردید و بر روی توری‌هایی قرار داده شد تا آب اضافی آن خارج گردد. سپس عمل برش‌زنی به کمک قالب دستی به شکل دایره با قطر ۳/۷ سانتی‌متر انجام شد. وزن نمونه‌ها بین ۱۵-۱۴/۵ گرم بود (Dragich et al., 2010).

پوشش‌دهی سینه‌های مرغ

جهت پوشش‌دهی فیله سینه مرغ از روش غوطه‌وری استفاده شد و نمونه‌ها (۹ تیمار) به مدت یک دقیقه در محلول پوشش قرار داده شدند (نمونه‌های شاهد در آب مقطر قرار گرفتند). پس از خارج کردن نمونه‌ها از محلول پوششی، فرصت داده شد اضافی مواد پوششی جدا شود و بعد از آن نمونه‌ها را درون پودر سوخاری قرار داده و همه جای نمونه را با پودر پوشش‌دهی سس نمونه را درون سبکی قرار داده تا پودر اضافی جدا شود. نمونه‌ها در سه مرحله توزین (قبل از پوشش‌دهی، بعد از پوشش‌دهی در محلول پوشش و بعد از پوشش‌دهی در پودر سوخاری) شده و وزن آن‌ها ثبت گردید (Dragich et al., 2010; Khazaei et al., 2016).

فرآیند سرخ کردن نمونه‌ها

پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها در سرخ‌کن اتوماتیک با ظرفیت ۲ لیتر و دمای قابل کنترل ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و در زمان‌های ۸ و ۱۰ دقیقه سرخ شدند. پس از سرخ کردن نمونه‌ها روی کاغذ جاذب روغن قرار گرفته تا روغن اضافی از سطح آن جداسازی شد. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق سرد شده و جهت آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفتند (Khazaei et al., 2016).

اندازه‌گیری درصد پوشش‌دهی

درصد پوشش‌دهی با رابطه ۱ محاسبه شد:

$$CP = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه W_2 وزن نمونه‌های پوشش‌دهی شده و W_1 وزن اولیه نمونه‌های بدون پوشش است (Akdeniz, 2006).

افت وزن

درصد افت وزن مطابق رابطه ۲ محاسبه شد:

$$WL = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه W_1 وزن نمونه‌های پوشش‌دهی شده قبل از سرخ کردن و W_2 وزن نمونه‌های پوشش‌دهی شده پس از سرخ کردن می‌باشد (Sharifimehr et al., 2019).

اندازه‌گیری میزان رطوبت

میزان رطوبت مرغ‌ها قبل و پس از سرخ شدن براساس روش استاندارد AACC (۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که فیله‌های مرغ در یک آون هوای گرم با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و به مدت ۵ ساعت خشک شدند و اختلاف وزن اولیه (قبل خشک کردن) و وزن ثانیه (پس از خشک کردن) نسبت به وزن اولیه نمونه‌ها به‌عنوان درصد رطوبت بر مبنای مرطوب نمونه‌ها گزارش گردید.

اندازه‌گیری میزان چربی

میزان روغن مرغ‌ها با استفاده از حلال پترولیوم اتر به مدت ۶ ساعت در یک دستگاه سوکسله اتوماتیک Peco Food Equipment و به روش AOAC (۱۹۹۰) بعد از سرخ کردن، اندازه‌گیری شد. محتوای روغن بر مبنای وزن خشک محاسبه شد.

آزمون بافت‌سنجی

آزمون Cutting (میزان سفتی بریدن بافت مرغ‌ها) با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (SANTAM) (STM TEXTURE ANALYSER-20) که مجهز به لودسل ۵۰ کیلوگرم بود انجام گرفت، نمونه‌ها با استفاده از یک پروپ فلزی تیغه‌ای با ضخامت ۱ میلی‌متر و طول ۷۰ میلی‌متر با سرعت برشی ۶۰ میلی‌متر بر دقیقه مورد برش قرار گرفت (Sahin et al., 2005).

تعیین میزان تغییر رنگ

آنالیز رنگ نمونه‌های مرغ با استفاده از سیستم رنگ‌سنجی CIE Lab از طریق تعیین شاخص‌های رنگی انجام گرفت. با استفاده از جعبه مخصوص رنگ‌سنجی (محفظه نوری) از نمونه سینه مرغ برای تعیین شاخص‌های رنگی مرغ، عکس‌برداری شد. سپس عکس‌ها به نرم‌افزار

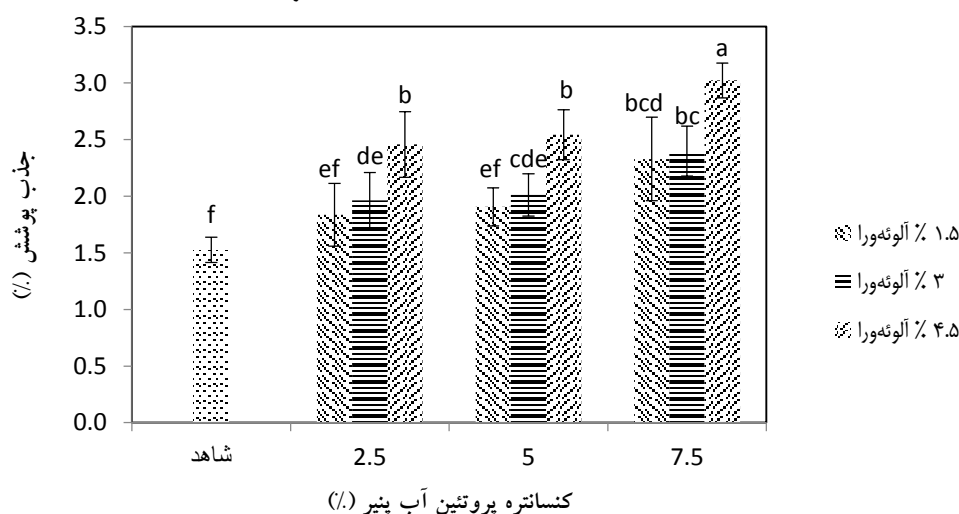
$$X = \frac{(a^* + 1.75 \times L^*)}{(5.645 \times L^* + a^* - 3.012 \times b^*)} \quad (۴)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

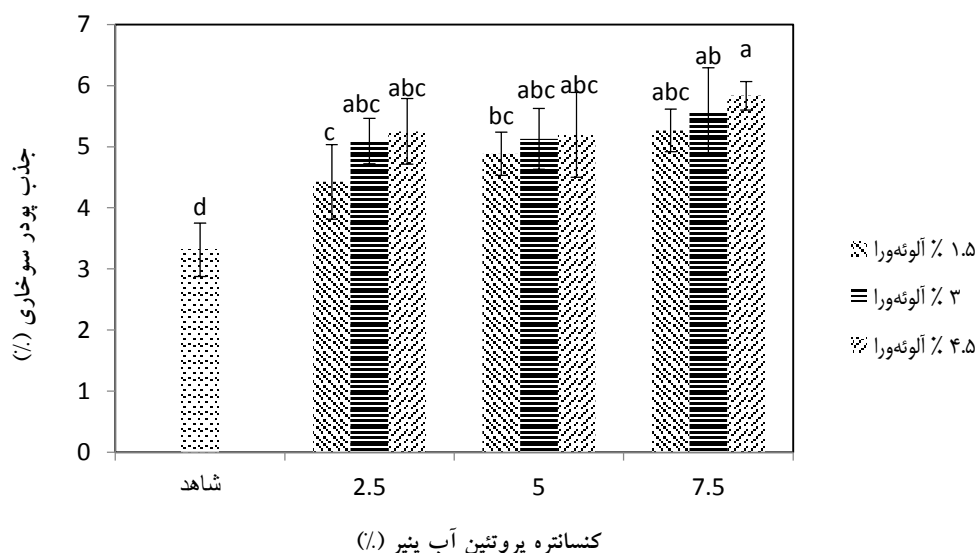
جامعه آماری شامل ۱۰ تیمار که متغیرها شامل غلظت ژل آلوتئورا در سه سطح ۱/۵، ۳، ۴/۵ درصد (w/v)، WPC در سه سطح ۲/۵، ۵، ۷/۵ درصد (w/v) همراه با یک نمونه شاهد (۱۰×۳+۱) که در طی ۳ سطح زمان سرخ کردن (۶، ۸، ۱۰ دقیقه) بررسی شد. کلیه آزمون‌ها در ۳ تکرار انجام گردید. از آزمون فاکتوریل (دو فاکتور تیمار ۱۰ سطح و زمان ۳ سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن و از نرم‌افزار SPSS برای آنالیز آماری داده‌ها استفاده گردید.

Image J انتقال یافت و شاخص رنگی RGB محاسبه شد. سپس RGB استاندارد نمونه‌ها را به‌دست آورد و با فعال کردن فضای Lab شاخص‌های L^* ، a^* ، b^* تعیین شد (Sahin et al., 2005; Khazaei et al., 2016). شاخص (a^*) از -۱۰۰ (سبز خالص) تا +۱۰۰ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص (b^*) از -۱۰۰ (آبی خالص) تا +۱۰۰ (زرد خالص) متغیر است (Khazaei et al., 2016). ضریب قهوه‌ای شدن میزان تغییر رنگ محصول به سمت رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد و با معادلات ۳ و ۴ به‌دست آمد:

$$BI = \frac{[100 - (x - 0.31)]}{0.17} \quad (۳)$$



(الف)



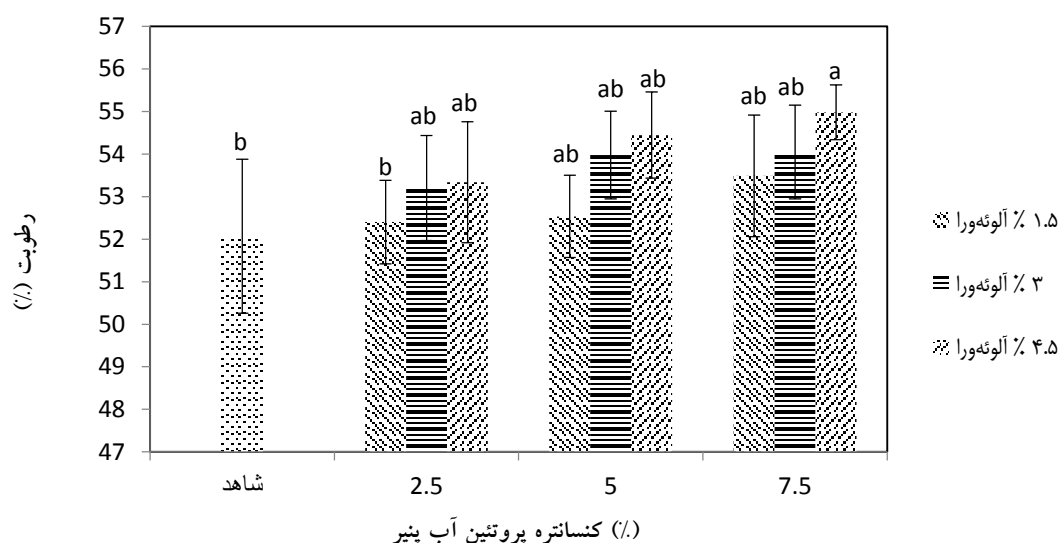
(ب)

شکل ۱- اثر غلظت کنسنتره پروتئین آب پنیر و ژل آلوتئورا بر درصد جذب لعاب پوششی سینه مرغ (الف) و درصد جذب پودر سوخاری سینه مرغ (ب).

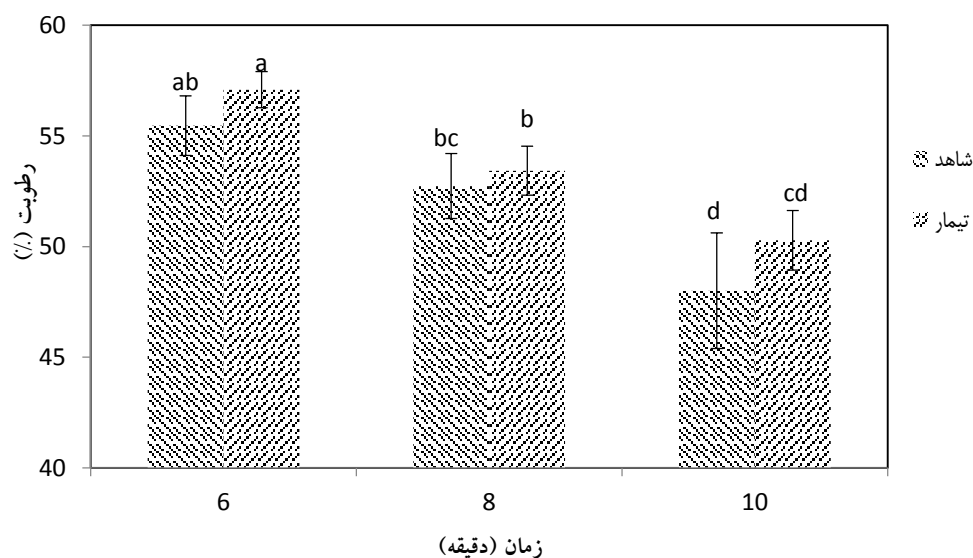
نتایج و بحث

پوشش‌دهی

مطابق با شکل ۱ جذب لعاب پوشش و پودر سوخاری در نمونه‌های پوشش‌دهی شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است. با افزایش غلظت ژل آلوه‌ورا و WPC میزان لعاب پوششی جذب شده در سینه مرغ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P \leq 0.01$). و با افزایش غلظت ژل آلوه‌ورا جذب پودر سوخاری روند افزایشی و با افزایش WPC جذب پودر سوخاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P \leq 0.05$). ویسکوزیته



(الف)



(ب)

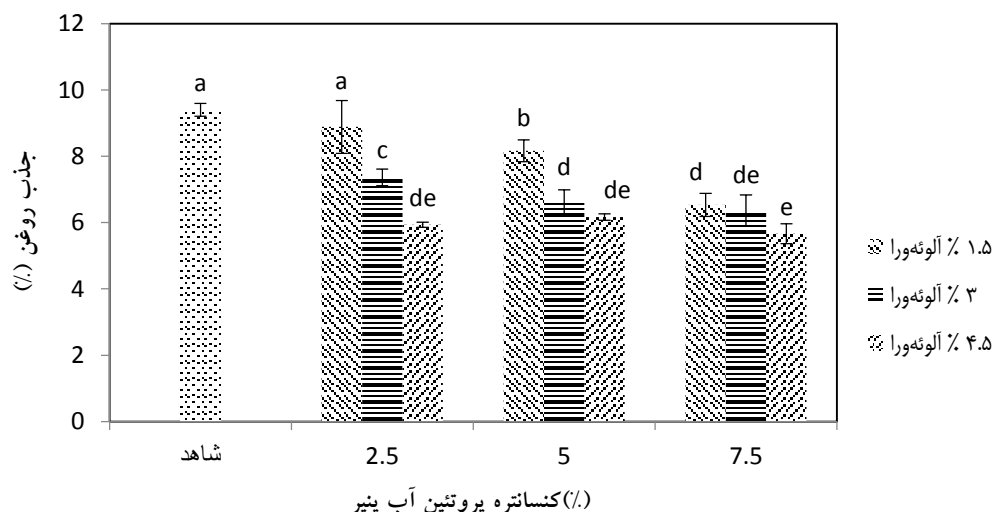
شکل ۲- اثر غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر و ژل آلوه‌ورا (هر ستون میانگین ۳ زمان است) بر درصد رطوبت سینه مرغ سرخ شده و در مقایسه با شاهد (الف) و اثر زمان سرخ کردن بر درصد رطوبت سینه مرغ سرخ شده (ب).

میزان رطوبت

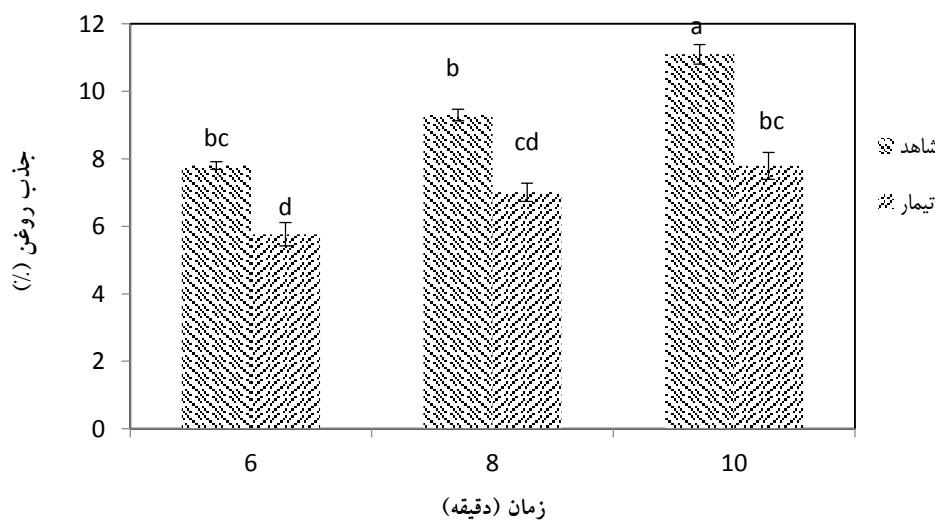
طبق شکل ۲ نتایج نشان داد که میزان رطوبت همه نمونه‌های پوشش داده شده بالاتر از شاهد بود و با افزایش غلظت ژل آلونهورا درصد رطوبت نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P \leq 0.05$). با افزایش غلظت WPC نیز درصد رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت که به دلیل توانایی صمغ در تشکیل ژل از طریق پیوندهای هیدروژنی قوی و نگهداری آب در طی سرخ کردن می‌باشد (Haghshenas et al., 2015). این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت دارد (Soorgi

et al., 2012 ; Izadi et al., 2014 ; Soltanizadeh et al., 2015).

میزان رطوبت به‌طور مستقیم وابسته به دما و زمان سرخ کردن می‌باشد. با افزایش دما، انرژی بیشتری به نمونه‌ها وارد می‌شود و سرعت تبخیر آب افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان سرخ کردن، زمان بیشتری برای خروج خواهد بود. در نتیجه افزایش زمان سرخ کردن باعث کاهش محتوی رطوبت نمونه‌ها شد (Negadi et al., 2007) روند مشابهی توسط Sahin و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده شد.



(الف)



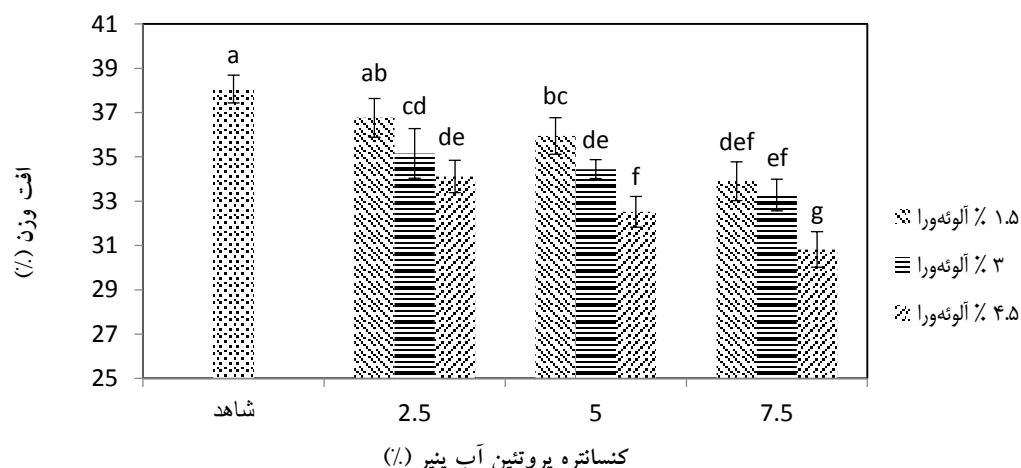
(ب)

شکل ۳- اثر غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر و ژل آلونهورا (هر ستون میانگین ۳ زمان است) بر درصد جذب روغن سینه مرغ سرخ شده و در مقایسه با شاهد (الف) و اثر زمان سرخ کردن بر درصد جذب روغن سینه مرغ سرخ شده (ب).

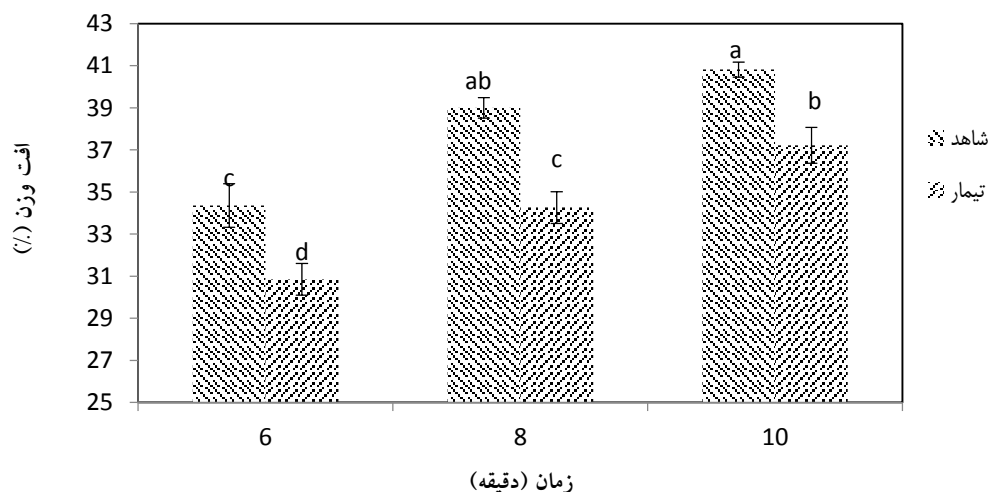
روغن ارتباط دارد (Manjunatha *et al.*, 2014). استفاده از صمغ به عنوان پوشش با افزایش نگهداری رطوبت از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی قوی بین مولکول‌های آب باعث کاهش جذب چربی می‌شود (Akdeniz *et al.*, 2006). همچنین نتایج نشان داد با افزایش زمان سرخ کردن جذب روغن به طور معنی‌داری افزایش یافت، که نتایج با Sahin و همکاران (۲۰۰۵) بر روی ناگت مرغ مطابقت داشت

میزان روغن

طبق شکل ۳ جذب روغن در نمونه بدون پوشش به طور معنی‌داری بالاتر از نمونه‌های پوشش داده شده است و با افزایش غلظت ژل آلوه‌ورا و WPC درصد جذب روغن نمونه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P \leq 0.01$). تبخیر رطوبت به وسیله انتقال حرارت در طی فرآیند سرخ کردن باعث ایجاد فضاهای خالی در ماده غذایی می‌شود (Kim *et al.*, 2011). فضاها و ترک‌هایی که به دلیل فرار بخار ایجاد می‌شود توسط روغن پر می‌شوند، از دست دادن رطوبت به طور قابل توجهی با جذب



(الف)



(ب)

شکل ۴- اثر غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر و ژل آلوه‌ورا (هر ستون میانگین ۳ زمان است) بر میزان افت وزن سینه مرغ سرخ شده و در مقایسه با شاهد (الف) و اثر زمان سرخ کردن بر میزان افت وزن سینه مرغ سرخ شده (ب)

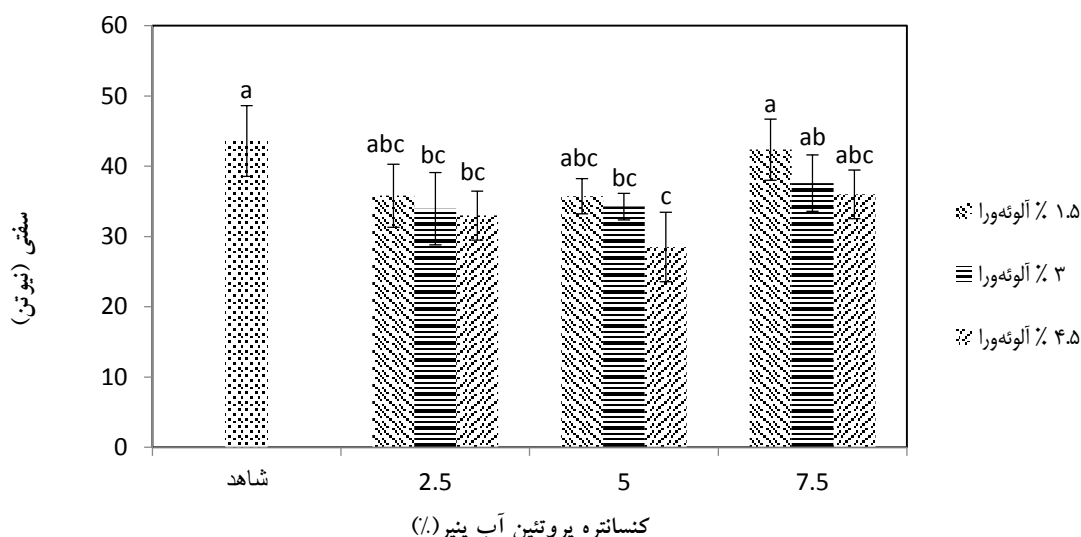
رطوبت در طول پخت است که می‌تواند کاهش میزان آب در محصول بر کیفیت ارگانولپتیک آن برای مصرف کننده تاثیرگذار باشد (Sharifimehr *et al.*, 2019). در تحقیق صورت گرفته مطابق با شکل ۴ همه نمونه‌های پوشش‌دهی شده افت وزن کمتری نسبت به

میزان افت وزن

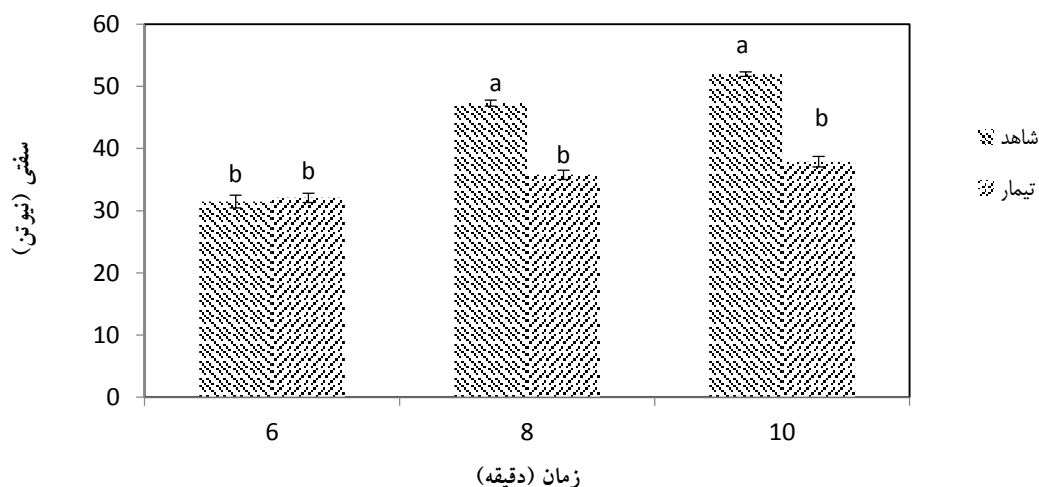
افت وزن به دو دلیل در صنایع غذایی از اهمیت بسیاری برخوردار است، اولاً افزایش افت وزن باعث کاهش راندمان محصول از نظر ارزش غذایی می‌شود دوم اینکه افزایش این شاخص به معنای کاهش

و بنابراین وزن نهایی محصول در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش بالاتر خواهد بود (Akdeniz *et al.*, 2006). با افزایش زمان سرخ کردن افت وزن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P \leq 0.01$). در طی فرآیند سرخ کردن از دست دادن رطوبت نمونه منجر به افت وزن محصول می‌شود.

نمونه شاهد داشتند. با افزایش غلظت ژل آلوتئورا و WPC افت وزن نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافته ($P \leq 0.01$). این نتایج با نتایج Soltanizadeh و همکاران (۲۰۱۵) و Sharifimehr و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت داشت. مواد هیدروکلوئیدی براساس خاصیت سدکنندگی خود مانع از خروج رطوبت از بافت ماده سرخ شده می‌شوند



(الف)



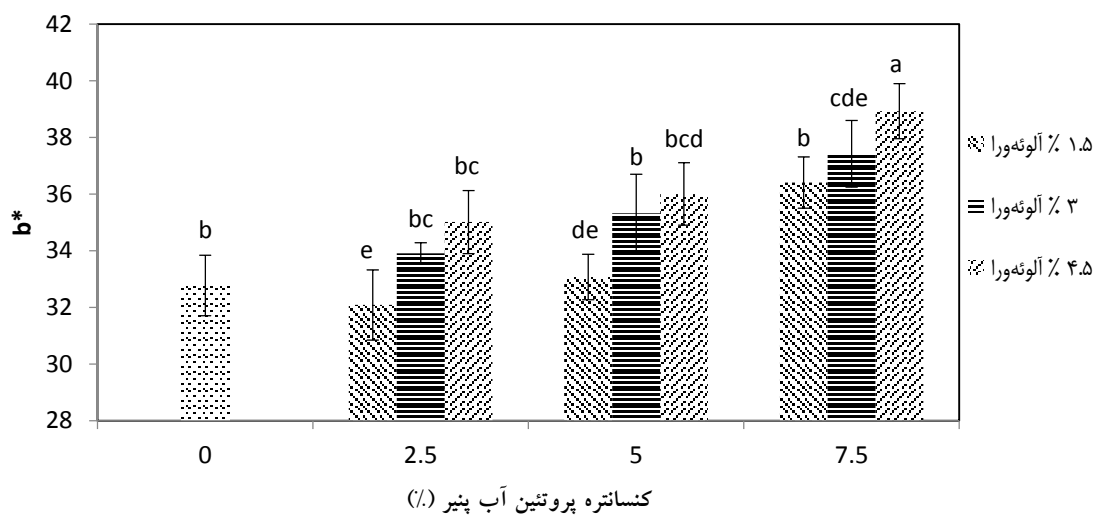
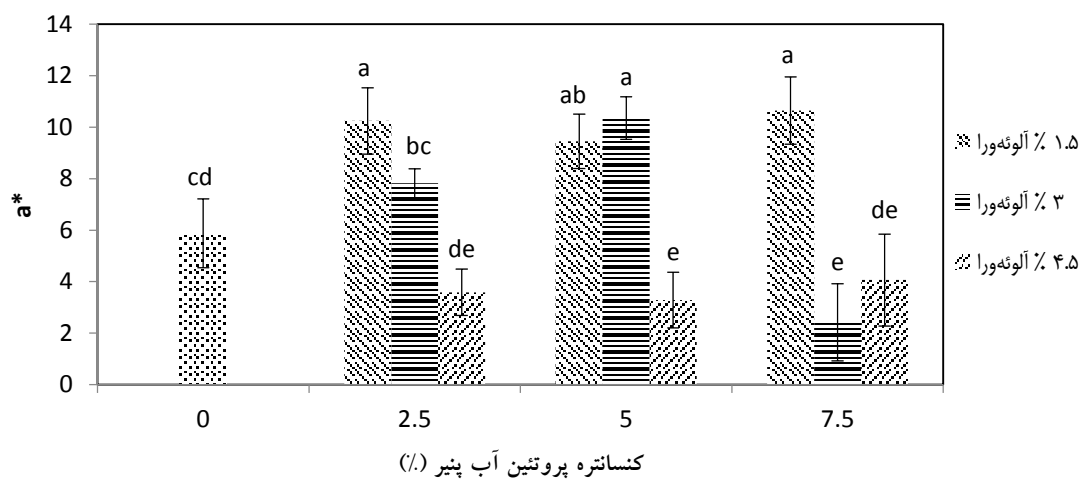
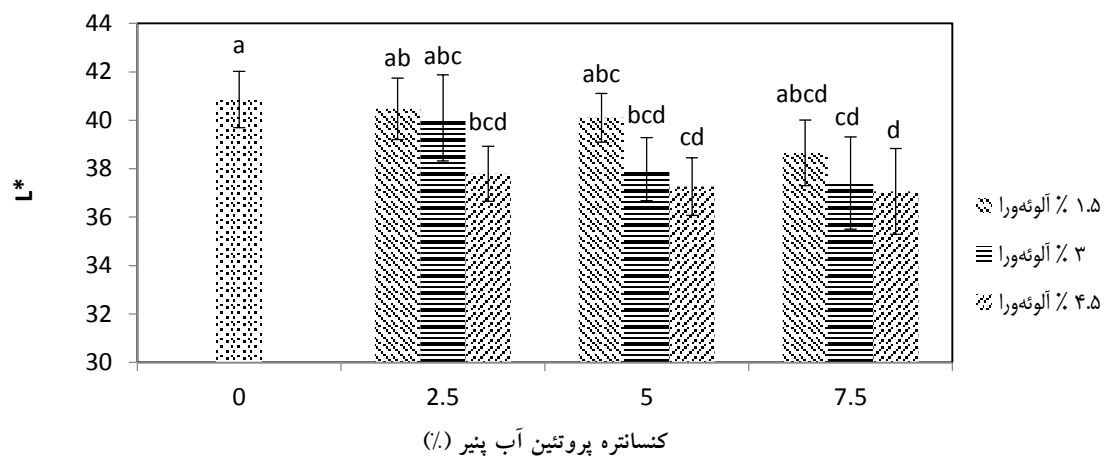
(ب)

شکل ۵- اثر غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر و ژل آلوتئورا (هر ستون میانگین ۳ زمان است) بر میزان سفتی سینه مرغ سرخ شده و در مقایسه با شاهد (الف) و اثر زمان سرخ کردن بر میزان سفتی سینه مرغ سرخ شده (ب).

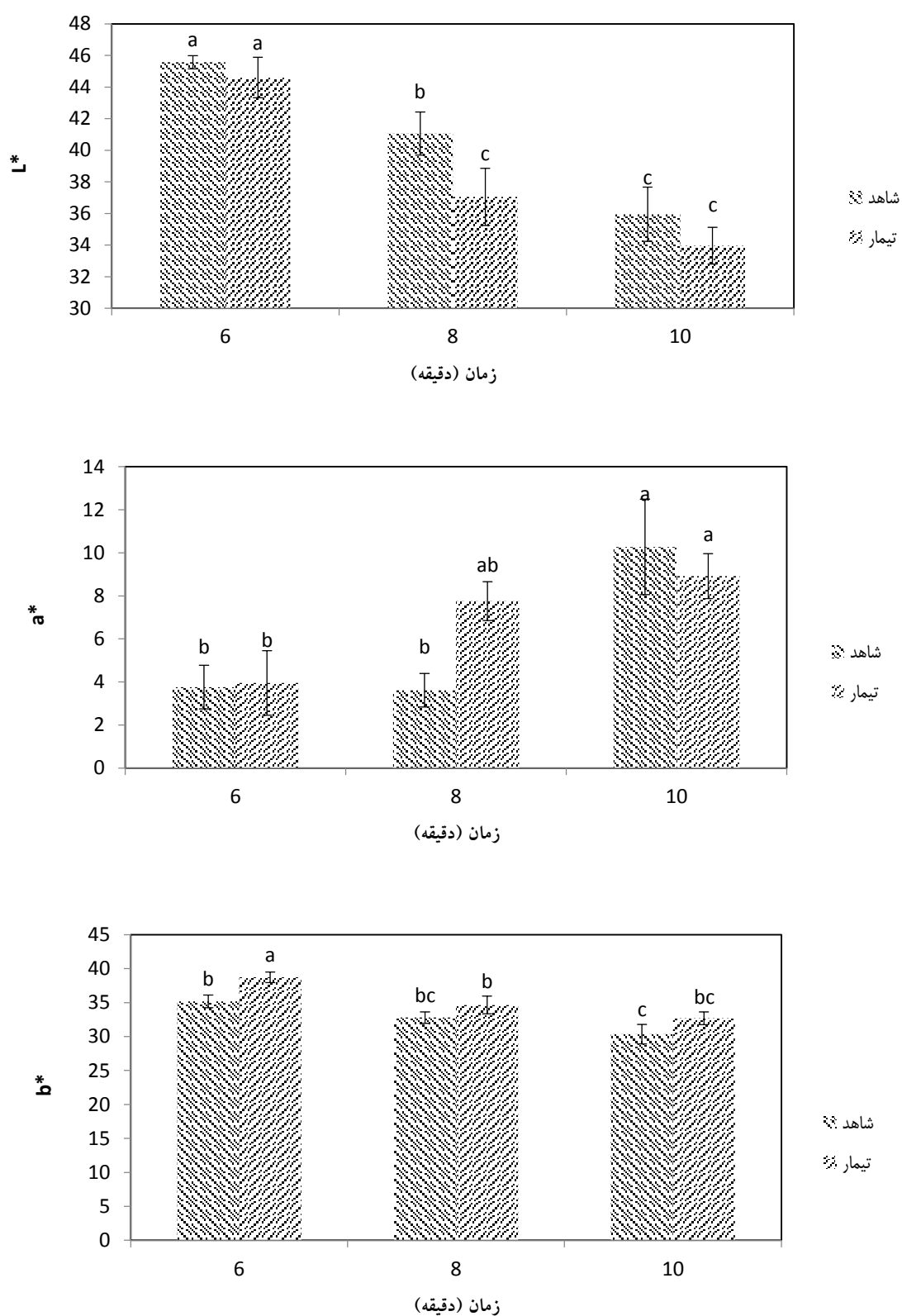
افزایش می‌دهد و منجر به کاهش مقاومت در برابر فشار می‌شود به عبارت دیگر تلفیق نسبت درستی از صمغ به پروتئین گوشت نقش مهمی در افزایش اتصال مولکول‌های آب در پروتئین ایفا می‌کند، که باعث می‌شود پروتئین نرم‌تر و آبدارتر شود که ممکن است در برخی مواد غذایی مطلوب باشد (Haghshenas *et al.*, 2015).

بافت

مطابق با شکل ۵ با افزایش غلظت آلوتئورا میزان سفتی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P \leq 0.05$). که می‌تواند به تأثیر نسبت پروتئین گوشت به پلی‌ساکارید وابسته باشد که قابلیت اتصال به آب را



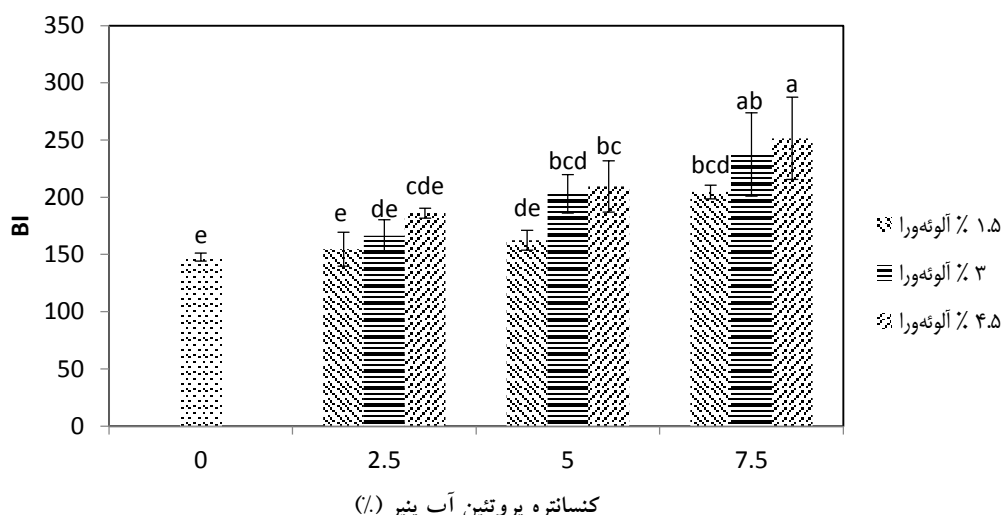
شکل ۶- اثر غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر و ژل آلوه‌ورا (هر ستون میانگین ۳ زمان است) بر تغییرات رنگی (L^* ، a^* و b^*) سینه مرغ سرخ شده و در مقایسه با شاهد.



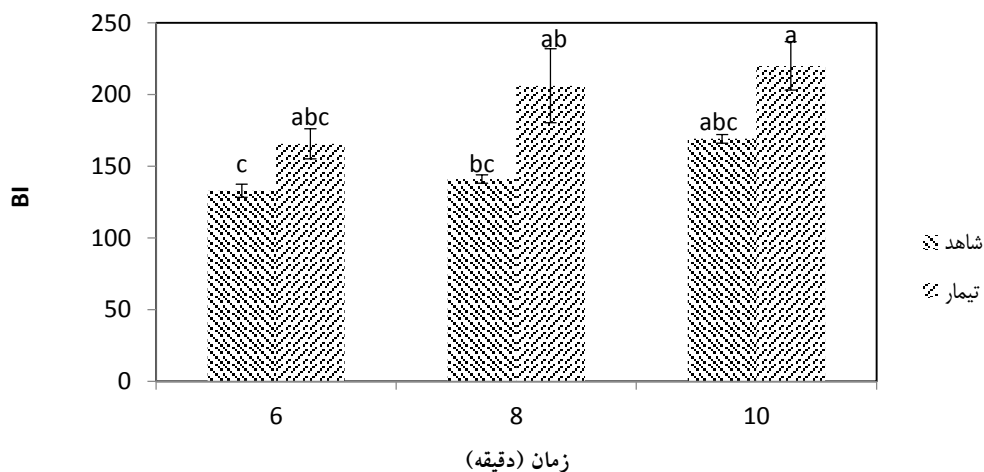
شکل ۷- اثر زمان سرخ کردن بر تغییرات رنگی (L^* ، a^* و b^*) سینه مرغ سرخ شده

نتیجه گرفت افزایش گروه‌های سولفیدریل باعث افزایش پیوندهای دی‌سولفیدی در پروتئین میوفیبریل گوشت و در نتیجه افزایش سفتی بافت می‌شود. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش زمان سرخ کردن میزان سفتی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافته ($P \leq 0.05$). این امر به دلیل تشکیل پوسته و کاهش میزان رطوبت نمونه‌ها است این نتیجه با نتایج مطالعات قبلی مطابقت داشت (Dogan et al., 2005; Sahin et al., 2005).

با افزایش غلظت WPC میزان سفتی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P \leq 0.05$). در فرآیند حرارت‌دهی گوشت، پروتئین‌های میوفیبریل باز می‌شوند و در نتیجه از طریق پیوندهای دی‌سولفیدی، الکترواستاتیک، هیدروفوب، هیدروژنی و واندروالسی با WPC باعث سفت شدن بافت سطحی گوشت سرخ شده می‌شوند (Chen et al., 2019). در حرارت ۶۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد پروتئین آب پنیر دنا توره می‌شود این دنا توره‌اسیون حرارتی گروه سولفیدریل آزاد در ساختار اولیه بتالاکتوگلوبلین را بی‌حفاظ می‌کند (مرضیه حسینی، ۱۳۹۲). می‌توان



(الف)



(ب)

شکل ۸- اثر غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر و ژل آلوه‌ورا (هر ستون میانگین ۳ زمان است) بر تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن سینه مرغ سرخ شده در مقایسه با شاهد (الف) و اثر زمان سرخ کردن بر تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن سینه مرغ سرخ شده (ب).

پیش از گذاشتن در دهان برخوردار است (Andreadis, 2000). طبق شکل ۶ نتایج رنگ‌سنجی نشان داد با افزایش غلظت ژل آلوه‌ورا میزان روشنایی (L^*) نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P \leq 0.05$). به

رنگ

یکی از ویژگی‌های مهم محصولات سرخ شده رنگ آن است که تاثیر مهمی در پذیرش یا عدم پذیرش محصول از جانب مصرف کننده

افزایش زمان سرخ کردن L^* و b^* به طور معنی داری کاهش و a^* به طور معنی داری افزایش یافت ($P \leq 0.01$). با افزایش زمان رنگ محصول تیره تر شد که به علت افزایش ترکیبات قهوه‌ای ناشی از واکنش مایلارد بود (Gazmuri et al., 2009).

مطابق با شکل ۸ با افزایش غلظت ژل آلوه‌ورا و WPC میزان اندیس قهوه‌ای شدن (BI) به طور معنی داری افزایش یافت ($P \leq 0.01$). پوشش‌های هیدروکلوئیدی کربوهیدرات‌های طبیعی دارند که می‌تواند با اسید آمینه آزاد موجود در محیط واکنش مایلارد ایجاد کند (Izadi et al., 2014). طبق شکل ۸ با افزایش زمان سرخ کردن BI به طور معنی داری افزایش یافت ($P \leq 0.01$). در همه پارامترهای رنگی تفاوت معنی داری بین نمونه‌های پوشش‌دهی شده و نمونه بدون پوشش (شاهد) مشاهده نشد که با نتایج Khalil (۱۹۹۹) مطابقت دارد.

علت حضور رنگدانه‌های مختلف فنلی به ویژه آنتراکینون‌های که حساس به نور و حرارت هستند، به گونه‌ای که با افزایش میزان آن و تجمع رنگدانه‌ها شاخص L^* کمتر شد (Khoshgozaran et al., 2012). با افزایش غلظت WPC، L کاهش یافت. می‌توان به لاکتوز موجود در WPC و انجام واکنش مایلارد در دمای بالای فرایند مربوط دانست، واکنش بین قندهای احیاکننده مثل لاکتوز و گروه آمینی پروتئین‌ها که منجر به قهوه‌ای شدن رنگ محصول می‌شود (مرضیه حسینی، ۱۳۹۲). با افزایش غلظت ژل آلوه‌ورا و WPC میزان a^* به طور معنی داری کاهش و میزان b^* به طور معنی داری افزایش یافت ($P \leq 0.01$). که می‌تواند به علت وجود تعداد بیشتر گروه‌های احیاکننده در این پوشش‌ها و ایجاد ترکیبات حاصل از واکنش‌های قهوه‌ای شدن در این نمونه‌ها باشد (Khazaei et al., 2016). طبق شکل ۷ با



شکل ۸- نمونه‌های پوشش‌دهی شده با ۴/۵ درصد آلوه‌ورا و ۷/۵ درصد WPC. نمونه سرخ شده در ۶ دقیقه (الف)، در ۸ دقیقه (ب) و در ۱۰ دقیقه (ج).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد پوشش‌دهی با ژل آلوه‌ورا و WPC به دلیل افزایش ویسکوزیته جذب لعاب پوششی و در نتیجه جذب پودر سوخاری را نسبت به نمونه بدون پوشش افزایش دادند مواد هیدروکلوئیدی با ایجاد خاصیت ممانعت‌کنندگی از طریق پیوندهای هیدروژنی قوی بین مولکول‌های آب، تشکیل یک لایه ژل با ظرفیت بالای نگهداری آب می‌دهد که از کاهش رطوبت و در نتیجه افت وزن و به دنبال آن با توجه به ارتباط معکوس میان محتوای آب و روغن میزان جذب روغن کاهش یافت. بهترین نتایج از نظر میزان افت وزن، رطوبت و روغن مربوط به نمونه پوشش‌دهی شده با ۴/۵ درصد آلوه‌ورا

منابع

- مالک، ف.، ۱۳۸۴، چربیها و روغنهای سرخ کردنی و تکنولوژی سرخ کردن. چاپ اول. تهران، مرز دانش، ۳۰۳ صفحه.
- حسینی، م.، حبیبی نجفی، م. ب.، محبی، م.، ۱۳۹۲، ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حسی پنیر تقلیدی حاوی کنسانتره‌ی پروتئین آب پنیر و پنیر اصلاح شده‌ی آنزیمی لبقوان، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، شماره ۲، ۹۱-۱۰۲.
- AACC., 1986, Moisture content. In Approved methods of the American Association of chemists. St Paul, MN: AACC.
- Akdeniz, N., gfhln, S., Sumnu, G., 2006, Functionality of batters containing different gums for deep- fat frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 75, 522-526.

- Akuamoah, F., Odamtten, GT., Kortei, NK., 2018, Influence of gamma irradiation on the colour parameters of dry smoked shrimps (*Penaeus notialis*). *Food Research*, 2(4), 350-355.
- Ananey-Obiri, D., Matthews, L., Azahrani, MH., Ibrahim, SA., Galanakis, CM., Tahergorabi, R., 2018, Application of protein-based edible coatings for fat uptake reduction in deep-fat fried foods with an emphasis on muscle food proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 167-174.
- Andreadis, I., 2000, A color coordinate nomalizer chip. *Journal of Intelligent and Robotic System*, 28, 181-196.
- AOAC., 1990, Official methods of analysis. Washington DC: *Association of Official Analytica Chemists*.
- Boghani, AH., Raheem, A., Hashmi, SI., 2012, Development and Storage Studies of Blended Papaya-Aloe vera Ready to Serve (RTS) Beverage. *Food Processing and Technology*, 3, 10.
- Chen, X., Youling, L., Xiong, Xinglian, XU., 2019, High-pressure homogenization combined with sulfhydryl blockage by hydrogen peroxide enhance the thermal stability of chicken breast myofibrillar protein aqueous solution. *Food Chemistry*, 285, 31-38.
- Dana, D., Saguy, IS., 2006, Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, 130, 267-272.
- Dogan, SF., Sahin, S., Sumnu, G., 2005, Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets. *European Food Research and Technology*, 220, 502-508.
- Dragich, AM., Krochta, JM., 2010, Whey Protein Solution Coating for Fat-Uptake Reduction in Deep-Fried Chicken Breast Strips. *Journal of Food Science*, 75, S43-S47.
- Freitas, DGC., Berbari, SAG., Patricia, Prati., Fakhouri, FM., Collares Queiroz, FP., Vicente, E., 2009, Reducing fat uptake in cassava product during deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 94, 390-394.
- Gazmuri, AM., Bouchon, P., 2009, Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 115(3), 999-1005.
- Haghshenas, M., Hosseini, H., Nayebzadeh, K., Shabkoohi Kakesh, B., Mahmoudzadeh, M., Komeyli Fonood, R., 2015, Effect of beta glucan and carboxymethyle cellulose on lipid oxidation and fatty acid composition of pre-cooked shrimp nugget during storage. *Food Science and Technology*, 62, 1192-1197.
- Izadi, S., Ojagh, SM., Rahmanifarah, K., Shabanpour, B., Sakhale, BK., 2014, Production of low-fat shrimps by using hydrocolloid coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 6037-6042.
- Khahl, AH., 1999, Quality of french fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. *Food Chemistry*, 66, 201-208.
- Khazaei, N., Esmaili, M., Emam-Djomeh, Z., 2016, Effect of active edible coatings made by basilseed gum and thymol on oil uptake and oxidation in shrimp during deep-fat frying. *Carbohydrate Polymers*, 137, 249-254.
- Khoshgozaran abras, S., Azizi, MH., Hamidy, Z., Bagheripoor-Fallah, N., 2012, Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of Aloe vera gel incorporation. *Carbohydrate Polymers*, 87, 2058-2062.
- Kim, DN., Lim, J., Bae, IY., Lee, HG., Lee, S., 2011, Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. *Journal of Food Engineering*, 102, 317-320.
- Kumcuoglu, S., Cagdas, E., 2014, Effects of grape seed powder and whey protein on quality characteristics of chicken nuggets. *Journal of Food Quality*, 38, 83-93.
- Mah, E., 2008, Optimization of a pretreatment to reduce oil absorption in fully fried, battered and breaded chicken using whey protein isolate as a postbreeding dip. Doctoral dissertation, Ohio University.
- Manjunatha, SS., Ravi, N., Negi, PS., Raju, PS., Bawa, AS., 2014, Kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of Gethi (*Dioscorea kamoensis* Kunth) strips. *Journal of food science and technology*, 51(11), 3061-3071.
- Mah, E., Brannan, RG., 2009, Reduction of Oil Absorption in Deep-Fried, Battered, and Breaded Chicken Patties Using Whey Protein Isolate as a Postbreeding Dip: Effect on Flavor, Color, and Texture. *Journal of Food Science*, 74, S9-S16.
- Mellema, M., 2003, Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in food science & technology*, 14(9), 364-373.
- Ngadi, M., Li, Y., and Oluka, S., 2007, Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *Lwt – Food Science and Technology*, 40, 1784-91.
- Sahin, S., Sumnu, G., 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, 2375-2379.
- Shahrezaee, M., Soleimanian-Zad, S., Soltanizadeh, N., Akbari-Alavijeh, S., 2018, Use of Aloe vera gel powder to enhance the shelf life of chicken nugget during refrigeration storage. *LWT – Food Science and Technology*, 95, 380-386.
- Sharifimehr, Sh., Soltanizadeh, N., Goli, SAH., 2019, Physicochemical properties of fried shrimp coated with bio-nano-coating containing eugenol and Aloe vera. *LWT – Food Science and Technology*, 109, 33-39.
- Soltanizadeh, N., Ghiasi-Esfahani, H., 2015, Qualitative improvement of low meat beef burger using Aloe vera. *Meat Science*, 99, 75-80.

- Soorgi M, Mohebbi M, Mousavi SM, Shahidi F.2012. The Effect of Methylcellulose, Temperature, and Microwave Pretreatment on Kinetic of Mass Transfer During Deep Fat Frying of Chicken Nuggets. *Food Bioprocess Technol* 5: 1521-1530.
- Varela, P., Fiszinan, SM., 2011, Hydrocnlloids in fried foods. *A review. Food Hydrocolloids*, 25, 1801-1812



The effect of Aloe Vera gel and whey protein concentrate on the physicochemical properties of fried chicken fillet

Kh. S. Tabatabae¹, M. Fazel^{2*}

Received: 2020.06.11

Accepted: 2020.08.23

Introduction: Nowadays, lack of time and busy work schedules have led to increase the demand for ready-to-eat foods. Furthermore, as cardiovascular diseases are on the rise in the world including our country, with nearly 40 percent of deaths being linked to these diseases, there is a growing demand for low-fat products. The main purpose of the deep frying process is to preserve the aroma and flavor of the ingredients in a crispy crust by immersing the food in hot oil. Frying at high temperatures affects the transfer of mass and heat, which causes some of the water to evaporate and be removed from the product, and the oil is moved into the product, replacing the extracted water. This study aims to use methods that reduce the absorption of oil in the fried product, which can reduce health concerns and increase consumer acceptance of the product.

Materials and methods: In this study, a day-old chicken breast fillets were used to prepare the samples. The weight of the samples was between 14.5 and 15 grams, with a diameter of 3.7. Coating solutions include aloe vera gel powder at three levels of 1.5, 3, and 4.5 % (w / v) and whey protein concentrate (WPC) at three levels of 2.5, 5 and 7.5 % (w / v), made with distilled water at 25C. Baguette bread was also used to make breadcrumbs. To coat the chicken breast fillet, the samples were immersed in the coating solution (control samples in distilled water) for 1 minute and then placed in breadcrumbs. After preparation, the samples were fried in an automatic fryer at a controllable temperature of 140 C for 6, 8, and 10 minutes, then the samples were cooled to room temperature for 10 minutes and tested for physicochemical properties. The tests included coating, weight loss, moisture content according to the standard AACC method, adsorption of oil by standard method AOAC, tissue measurement test based on the stiffness of the chicken tissue cutting (catching test), and color analysis of chicken samples using CIE Lab colorimetric system through the determination of color characteristics were performed.

Results & discussion: The results showed that the coated samples increased the absorption of the coating glaze due to the increase in the viscosity and thus the absorption of baking powder compared to the non-coated sample. The coating with hydrochloric materials based on barrier properties through strong hydrogen bonds between water molecules forms a gel layer with a high water holding capacity that prevents moisture from escaping. This subsequently reduces weight loss. Moreover, due to the inverse relationship between water and oil content, oil absorption was significantly decreased ($p < 0.01$). Among the studied coatings, the highest moisture retention rate and the lowest oil absorption rate are related to the coated sample with 4.5% aloe vera and 7.5% WPC. As the concentration of aloe vera increased, the hardness of the samples decreased, which may depend on the effect of the meat protein to polysaccharide ratio. As the concentration of WPC increased, the stiffness of the samples increased, increasing the sulfhydryl groups, increasing the disulfide bonds in the meat's myofibrillar protein, and thus increasing the tissue stiffness. Increasing the frying time reduced the moisture and increased the oil absorption, weight loss, and stiffness of the samples. The coating reduces brightness due to the presence of various phenolic pigments, especially light- and heat-sensitive anthraquinones in aloe vera and lactose in WPC, and Maillard's reaction at high processing temperatures, resulting in increased browning index and darkening with increasing product color time. This is correlated with the Maillard reaction. Coating with aloe vera gel and WPC is effective in improving the physicochemical properties of fried chicken.

Keywords: Chicken, Deep frying, Coating, Aloe vera, Whey Protein Concentrate

1 and 2. -MSc Student and Assistant professor Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

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

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر هیدروکلوئید کنجاک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی سوریمی تولید شده از دو ماهی سارم (*Scomberoides commersonnianus*) و حسون (*Saurida tumbil*)

درنوش جعفرپور^{۱*} - پریسا عطایی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱

چکیده

در این پژوهش از اندازه‌های کوچک دو ماهی سارم و حسون که کمتر مورد استقبال مصرف کنندگان قرار می‌گیرد جهت تولید سوریمی استفاده شد و تاثیر هیدروکلوئید کنجاک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصول تولید شده از این دو نوع ماهی مورد مقایسه قرار گرفت. بدین منظور، مقادیر مختلف صمغ کنجاک در غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ درصد به نمونه‌های سوریمی و ژل سوریمی ماهی حسون و سارم افزوده شد و با نمونه شاهد (سوریمی بدون کنجاک) مقایسه گردید. سوریمی و ژل تولیدی از نظر ترکیبات شیمیایی، ظرفیت نگهداری آب و فاکتورهای رنگی مورد ارزیابی قرار گرفتند و بررسی ویژگی‌های بافتی و ارزیابی حسی در مورد ژل‌های تولیدی هر دو نوع ماهی انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزودن صمغ کنجاک به نمونه‌های سوریمی و ژل تولیدی هر دو ماهی، رطوبت و ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافته در حالی که فاکتور روشنایی (L^*) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$). با افزایش غلظت صمغ کنجاک در ژل سوریمی هر دو ماهی، پارامترهای مربوط به بافت (سفتی، انسجام، چسبندگی، فنریت و قابلیت جویدن)، نیروی شکست و عمق نفوذ به‌طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. همچنین نتایج نشان دادند ژل سوریمی حاصل از ماهی حسون از سفتی، انسجام و استحکام بالاتری نسبت به ماهی سارم برخوردار بود. ارزیابی‌های حسی نیز نشان داد که افراد ارزیاب در مورد ژل سوریمی حاصل از ماهی حسون بیشترین امتیاز را به تیمار ۰/۵٪ و در مورد ماهی سارم به تیمار ۰/۷۵٪ کنجاک اختصاص دادند. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر مشخص شد که ژل سوریمی حاصل از ماهی سارم از کیفیت پایین‌تری نسبت به ماهی حسون برخوردار بوده اما با افزودن کنجاک می‌توان خصوصیات آن را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: سوریمی، صمغ کنجاک، رنگ، بافت، ارزیابی حسی

مقدمه

افزایش روزافزون آگاهی نسبت به ارزش تغذیه‌ای، سلامت و بهداشت مواد غذایی و همچنین تغییر روش زندگی در کشورهای صنعتی سبب گردیده تا تقاضا برای مواد خوراکی سالم و آماده مصرف بیشتر گردد. در این رابطه آبزیان خوراکی به‌عنوان منابع غنی از پروتئین با قابلیت هضم آسان و ارزش بیولوژیکی بالا که قادرند ویتامین‌ها، مواد معدنی و اسیدهای چرب مفید را تامین نمایند، از جایگاه خاصی برخوردارند (جعفرپور، ۱۳۹۲). همه ساله در جریان صید ماهیان دریایی برخی از گونه‌هایی که صید می‌شوند برای مصرف انسان مناسب نیستند. حدود ۳۰ درصد از مجموعه صیدی که به عرشه منتقل می‌شود به دلایل مختلف مثل رنگ نامطلوب، طعم، اندازه کوچک و چربی زیاد به عنوان مازاد صید یا کم مصرف شناخته

می‌شود که این خود عامل مهمی در اتلاف این منابع غنی محسوب می‌شود (FAO, 2012). از این رو لازم است تمهیداتی به‌کار برده شود تا بتوان از این گونه‌ها برای مصارف انسانی بهره گرفت. از شناخته‌ترین تکنولوژی‌ها جهت استفاده از ماهیان کم‌مصرف و دیگر منابع آبی، چرخ کردن گوشت و بهره‌گیری از آن جهت تولید محصولات متنوع دیگر می‌باشد (جعفرپور، ۱۳۹۲). سوریمی^۳ واژه‌ای ژاپنی است که به گوشت ماهی استخوان‌گیری شده، چرخ شده و شسته شده با آب اطلاق می‌شود که به‌منظور تولید فرآورده‌های تقلیدی مانند پای خرچنگ، لابستر و اویستر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hajidoun and Jafarpour, 2013). سوریمی کنسانتره پروتئین‌های میوفیبریل به‌دست آمده از گوشت چرخ شده و شسته شده است که واجد ویژگی‌هایی شامل رنگ روشن، تعدیل محسوس در طعم و بوی طبیعی ماهی و چربی کم است (Park, 2014). ایالات متحده آمریکا و ژاپن از تولیدکنندگان اصلی سوریمی و محصولات مبتنی بر آن به‌شمار می‌روند. سوریمی با وجود مقادیر بالایی از

۱ و ۲- به‌ترتیب استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و

صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فسا، فارس، ایران

(*) - نویسنده مسئول: (Email: d.jafarpour84@yahoo.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.87488

منفی ناچیزی دارد. افزودن هر یک از این هیدروکلوئیدها تغییر شکل ژل سوریمی را کاهش می‌دهد. Xiong و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی تاثیر کنجاک گلوکومانان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژل سوریمی حاصل از ماهی *Ctenopharyngodon idella* پرداختند و بیان کردند با افزایش غلظت کنجاک نیروی لازم جهت شکست و تغییر شکل ژل سوریمی افزایش می‌یابد و ظرفیت نگهداری آب بهبود می‌یابد.

ماهی حسون (*Saurida tumbil*) از جمله ماهیان استخوانی بوده که متعلق به خانواده Synodontidae می‌باشد. این ماهی دارای بدن استوانه‌ای کوچک، سر نوک تیز و فشردۀ است (صادقی، ۱۳۸۰). در مجموع مناطق غربی و مرکزی دریای عمان از بیشترین میزان توده زنده ماهی حسون برخوردار می‌باشد. ماهی سارم (*Scomberoides commersonnianus*) نیز از دیگر ماهیان استخوانی بوده که به خانواده Carangidae تعلق دارد. شکل و اندازه بدن گونه‌های مختلف این تیره بسیار متفاوت است. به‌طوری که در بعضی از گونه‌ها کشیده و در برخی دوکی شکل یا پهن و از دو طرف فشردۀ می‌باشد. این ماهی در آب‌های شور مناطق گرمسیری یافت می‌شود (Carpenter et al., 1997). از آنجا که اندازه‌های کوچک این دو نوع ماهی در ایران کمتر مورد استقبال مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد و از طرفی ویژگی‌های تولید سوریمی از آن‌ها گزارش نشده است، از این رو هدف از انجام این مطالعه بررسی امکان تولید سوریمی و ژل سوریمی از ماهی سارم و حسون بوده و نیز ارزیابی تاثیر هیدروکلوئید کنجاک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصول تولید شده از این ماهیان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دو گونه ماهی مورد استفاده در این پژوهش با نام‌های محلی سارم و حسون به‌ترتیب با وزن تقریبی $225/9 \pm 23/6$ و $275/9 \pm 24/4$ گرم و اندازه متوسط $15/1 \pm 2/4$ و $17/3 \pm 2/6$ سانتی‌متر به‌صورت تازه از بازار ماهی فروشی واقع در فسا تهیه گردید و پس از قرارگیری در محفظه یخ بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد. کنجاک (*Amorphophallus konjac*) مورد استفاده در این پژوهش از شرکت بهین آزما (شیراز، ایران) تهیه شد. تمام مواد شیمیایی مورد استفاده نیز از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

آماده‌سازی سوریمی

آماده‌سازی سوریمی بر اساس دستورالعمل Gorczyca و Jafarpour (۲۰۰۹) انجام شد. بدین منظور ابتدا ماهی‌ها با آب سرد کاملاً شستشو شدند. پس از سرزنی، تخلیه شکمی و شستشو، پوست ماهی و استخوان‌های آن به‌صورت دستی زدوده شد و به‌صورت فیله

پروتئین‌های میوفیبریل دارای خصوصیات ژل‌شوندگی منحصر به فردی است که آن را به ماده غذایی پایه با عملکرد بسیار عالی برای تولید محصولات غذایی مانند برگر، سوسیس و غیره تبدیل کرده است. از ترکیبات مورد استفاده برای اصلاح و بهبود ویژگی‌های سوریمی می‌توان به نشاسته، افزودنی‌های پروتئینی و هیدروکلوئیدها اشاره کرد (Park, 2014).

کنجاک گلوکومانان از غده‌های گیاه (*Amorphophallus konjac*) از خانواده Araceae استحصال می‌گردد و نوعی هیدروکلوئید است. این پلی‌ساکارید خنثی به خاطر توانایی جذب آب بالا، به‌عنوان تشکیل‌دهنده ژل و عامل سفت‌کننده در غذاهای سنتی آسیایی استفاده می‌شود (Zhang et al., 2015). همچنین از آن به‌عنوان یکی از ویسکوزترین فیبرهای رژیمی یاد می‌کنند. استفاده آن در کشورهای غربی به‌عنوان یک جزء در غذاهای فراسودمند رو به گسترش است. محصولات کنجاک توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) در لیست ۱۰ غذای سالم برتر قرار گرفته (Al-Ghazzewi et al., 2007; Takigami et al., 1997). همچنین استفاده از آن به‌عنوان یک افزودنی غذایی در اروپا مجاز شناخته شده است و به‌عنوان (GRAS^۱) توسط سازمان غذا و دارو (FDA^۲) طبقه‌بندی می‌گردد. علاوه بر این استفاده از کنجاک به خاطر نقش مهم آن در کنترل وزن، اصلاح متابولیسم میکروبی روده، خارج ساختن رادیکال‌های آزاد، ممانعت از رشد تومورهای نهفته و پیشرفته نادر، بسیار مورد توجه است (Zhang et al., 2015).

حسینی شکرابی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی اثرات هیدروکلوئیدهای مختلف را بر ویژگی‌های بافتی و ریز ساختاری ژل سوریمی بررسی کردند و گزارش کردند برخی هیدروکلوئیدها از جمله کتیرای ایرانی بهترین نتیجه را در بهبود خواص بافتی و ریز ساختار ژل سوریمی در مقایسه با صمغ زانتان، کیتوزان و کنسانتره پروتئین آب پنیر دارد و کمترین تاثیر مطلوب با افزودن زانتان حاصل می‌شود. هدایتی و کوچکی (۱۳۹۲)، بیان کردند که از هیدروکلوئیدها می‌توان به‌منظور اصلاح بافت فرآورده‌های بر پایه سوریمی استفاده کرد. زیرا تشکیل کمپلکس پروتئین-آب-پلی‌ساکارید باعث تغییر در ویژگی‌های ساختاری و عملکردی پروتئین ماهی و ایجاد ژل‌های ویسکوالاستیک می‌گردد. Hai-hua و Chang-hu (۲۰۰۹) تاثیر هیدروکلوئیدهای مختلف را بر ویژگی‌های ژل سوریمی بررسی کردند و نشان دادند که افزودن هیدروکلوئیدهای مختلف تاثیرات متفاوتی بر ویژگی‌های بافتی سوریمی دارد. کاراگینان و آگار نیروی شکست ژل سوریمی را افزایش داده در حالی که زانتان منجر به کاهش نیروی شکست ژل سوریمی می‌شود و آلژینات نیز تاثیر

^۱ Generally Recognized As Safe

^۲ Food and Drug Administration

رسیدن به وزن ثابت، پروتئین خام به روش کج‌لدال با استفاده از دستگاه هضم و تقطیر کج‌لدال (VAP.40, Gerhardt, آلمان)، چربی خام با استفاده از پترولیوم اتر و دستگاه سوکسله (Gerhardt, SE-416, آلمان) و خاکستر با استفاده از کوره‌گذاری (Nabertherm, آلمان) در دمای 550°C اندازه‌گیری شدند (AOAC, 2005).

ظرفیت نگهداری آب سوریمی

ظرفیت نگهداری آب با استفاده از دستگاه سانتیفریوژ و طبق روش Hajidoun and Jafarpour (۲۰۱۳) اندازه‌گیری گردید. بدین جهت ابتدا ۵ گرم نمونه توسط ترازو توزین و در کاغذ واتمن به شماره ۴۱ پیچیده شد و سپس در دستگاه سانتیفریوژ (۵۸۱۰، آلمان) در دمای 8°C به مدت ۳۰ دقیقه با دور $1700 \times \text{g}$ قرار داده شد. در نهایت ظرفیت نگهداری آب سوریمی و ژل سوریمی از اختلاف وزن کاغذ فیلتر قبل و بعد از سانتیفریوژ مطابق فرمول زیر محاسبه شد.

$$\text{WHC g/kg} = [(1 - \text{Mw}/\text{Ms})]1000 \quad (2)$$

Mw: جرم ثانویه نمونه، Ms: جرم اولیه نمونه

ارزیابی رنگ سوریمی

نمونه‌ها به ضخامت ۲۰ میلی‌متر برش زده و برای عکس‌برداری در جعبه‌ای با دیواره‌های سفید با ابعاد (۶۰×۵۰×۵۰) قرار گرفتند. برای نورپردازی فضا، از لامپ فلورسنت کم مصرف با توان ۶۰ وات با نور سفید استفاده شد. توزیع نور درون جعبه کاملاً یکنواخت بوده و عکس‌برداری به وسیله یک دوربین دیجیتالی (Canon Power Shot A540، ژاپن) با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نمونه و عمود بر آن درون جعبه انجام پذیرفت. تصاویر بدست آمده به نرم افزار فتوشاپ ۸ منتقل شد و مولفه‌های رنگ (L^* , a^* , b^*) آن‌ها بدست آمد. مولفه رنگ L^* بیانگر روشنایی، مولفه رنگ a^* نشان‌دهنده میزان سبزی و قرمزی و مولفه رنگ b^* میزان آبی و زرد را نشان می‌دهد. سپس مؤلفه‌های رنگ برای آنالیز آماری استفاده شد (Yam and Papadakis, 2004).

آنالیز پروفایل بافت ژل سوریمی

ابتدا نمونه‌های ژل به اندازه 25×20 میلی‌متر توسط کولیس و تیغه تیز برش داده و قبل از انجام آزمایش‌ها با دمای محیط (۲۶-۲۸ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۳۰ دقیقه هم دما شدند. بافت نمونه‌های مورد نظر توسط دستگاه بافت‌سنج بروکفیلد مدل LFRA 4500، مجهز به سلول بارگذاری ۲۵ کیلوگرمی و پروب استوانه‌ای شکل با قطر ۵۰ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی بافت، نمونه‌های ژل سوریمی به صورت محوری تا نصف ارتفاع اولیه با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه و نیروی ۰/۱ نیوتن، در دو مرحله متوالی فشرده شدند. فاصله بین دو مرحله فشرده‌سازی ۵ ثانیه بود. در این

درآمد. سپس گوشت آن با استفاده از چرخ گوشت خانگی (بوش، MFW68640، آلمان) با منفذ دو میلی‌متر چرخ گردید. سپس گوشت چرخ شده با آب سرد ۵ تا ۸ درجه سانتی‌گراد به نسبت ۱ به ۴ (گوشت: آب) به مدت ۱۰ دقیقه شسته و عملیات آبگیری با استفاده از پارچه تنظیف با چشمه یک میلی‌متر به صورت دستی انجام شد. پس از ۲ بار شستشو با آب خالص و آبگیری، مرحله نهایی شست و شو با آب نمک ۰/۳ درصد انجام پذیرفت. پس از آبگیری نهایی، با استفاده از یک وزنه سنگین عملیات فشرده‌سازی به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه بر روی گوشت چرخ‌ماهی صورت گرفت تا آب آن به‌طور کامل خارج شود. بعد از آن صمغ کنجاک با درصدهای ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ (w/w) به سوریمی به‌دست آمده افزوده و سپس با استفاده از مولینکس (DPA1, Moulinex، فرانسه) به مدت ۳ دقیقه هم‌وزن شد (Gorczyca and Jafarpour, 2009). دمای سوریمی در تمامی مراحل زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. سپس نمونه‌ها در روکشی از جنس پلی‌آمید با قطر ۳۰ میلی‌متر قرار داده شد. جهت انجام این مرحله سوریمی به صورت یکنواخت و بدون هوا وارد روکش گردید و دو طرف روکش محکم بسته شد (جعفرپور، ۱۳۹۱).

تولید ژل سوریمی

جهت آماده‌سازی ژل سوریمی، ابتدا نمونه‌ها جهت قوام‌یابی در حمام آبی (Germany, Memmert) با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار گرفته و سپس جهت پخت با استفاده از حمام آب گرم در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه حرارت داده شدند. پس از پخت جهت توقف فرآیندهای بعدی و جلوگیری از تاثیر دما بر بافت ژلهای سوریمی، نمونه‌ها سریعاً با آب یخ ($\pm 2^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی‌گراد)، سرد شدند. سپس نمونه‌های به‌دست آمده تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Yongsawatdigul and Piyadhamviboon, 2005).

میزان بازدهی سوریمی

میزان بازدهی سوریمی طبق روش Jin و همکاران (۲۰۰۷) اندازه‌گیری شد. بدین منظور وزن کل عضله قبل از شستشو و سوریمی به‌دست آمده پس از پایان مراحل شستشو، اندازه‌گیری شد. از تفاوت وزن کل عضله و توده نهایی سوریمی طبق فرمول زیر بازدهی محاسبه شد.

$$(1) \quad 100 \times (\text{وزن ماده اولیه} / \text{وزن سوریمی تولیدی}) = (\%) \text{ بازدهی}$$

آنالیز ترکیب شیمیایی سوریمی

آنالیز ترکیب تقریبی شیمیایی نمونه‌ها بر اساس روش AOAC (۲۰۰۵) انجام پذیرفت. رطوبت سوریمی حاصل از دو گونه ماهی پس از تولید با استفاده از آون‌گذاری (Binder، آمریکا) در دمای 105°C و

ارزیابی حسی نمونه‌ها پس از تولید، مطابق روش هدونیک ۵ نقطه‌ای، از بسیار مطلوب (۵) تا بسیار نامطلوب (۱) انجام پذیرفت. در طی این آزمون، صفات رنگ و ظاهر نمونه، بو و پذیرش کلی نمونه‌ها توسط ۱۲ نفر ارزیاب نیمه آموزش دیده (محدوده سنی بین ۲۰ تا ۴۵ سال) مورد ارزیابی قرار گرفتند (Watts et al, 1989).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش‌ها در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. نتایج ابتدا در معرض تجزیه واریانس یکطرفه قرار گرفته و سپس برای مقایسه میانگین‌ها و بررسی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۹۵٪ استفاده گردید. همچنین جهت مقایسه سوریمی و ژل سوریمی در یک درصد از آزمون Independent-Samples T-Test استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان بازدهی سوریمی

میزان بازدهی سوریمی حاصل از دو ماهی مورد مطالعه در شکل ۱، آورده شده است. همان‌طور که مشخص است، بازدهی ماهی حسون ۲۸ درصد و ماهی سارم ۲۲ درصد بدست آمد. عوامل مختلفی در میزان بازدهی سوریمی اثر دارند که از جمله می‌توان به نوع ماهی، اندازه و وزن ماهی، تعداد مراحل شستشو، نسبت آب مورد استفاده جهت شست و شو و میزان نمک مورد استفاده در آبکشی نهایی و غیره اشاره کرد (Hamzah et al., 2015; Rahmawati et al., 2018). به‌نظر می‌رسد اندازه بزرگتر ماهی حسون در بازدهی بیشتر آن نسبت به ماهی سارم موثر بوده است. Sarker و همکاران (۲۰۱۲)، میزان بازدهی ۱۸/۹۹٪ را برای ماهی تیلایا، ۱۸/۲۶٪ برای ماهی کپور و ۲۴٪ برای ماهی آلاسکاپولاک گزارش کردند. Çaglak (۲۰۱۸) بازده سوریمی را بین ۲۲-۳۲ درصد عنوان کرده است. همچنین در تحقیق Hosseini-Shekarabi و همکاران (۲۰۱۴) میزان بازدهی ۳۶/۵۶٪ را برای ماهی شوریده دهان سیاه بیان کردند. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق در محدوده گزارش شده با تحقیقات پیشین بوده است.

ترکیب شیمیایی

نتایج حاصل از آنالیز ترکیب شیمیایی نمونه‌های سوریمی حاصل از دو گونه ماهی سارم و حسون در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده تفاوت معنی‌داری در مقادیر چربی، خاکستر و پروتئین تیمارها نسبت به نمونه شاهد مشاهده نشد ($p > 0.05$). Hsu و Chiang (۲۰۰۲) بیان کردند که اضافه کردن صمغ‌ها تأثیر معنی‌داری بر ترکیب تقریبی محصول سوریمی آنها

آزمون فاکتورهای سفتی^۱ (حداکثر نیروی لازم برای تغییر شکل مورد نظر در سیکل اول فشردن)، فاکتور انسجام^۲ (نیروی لازم جهت غلبه بر نیروی جاذبه سطحی بین ذرات)، فاکتور چسبندگی^۳ (حداکثر نیروی منفی مورد نیاز برای خارج نمودن پروب از ماده غذایی)، فاکتور فنریت^۴ (مقدار برگشت ماده به حالت اولیه پس از برداشتن نیرو) و قابلیت جویدن (انرژی لازم برای خرد کردن یک ماده غذایی نیمه جامد تا هنگامی که آماده بلع شود) اندازه‌گیری شدند (Santana et al., 2013).

آزمون نفوذ ژل سوریمی

جهت ارزیابی بافت ژل سوریمی از آزمون نفوذ نیز استفاده شد. بدین جهت با استفاده از دستگاه بروکفیلد مجهز به سلول بارگذاری ۲۵ کیلوگرمی و پروب استوانه‌ای شکل با قطر ۵ میلی‌متر ارزیابی انجام شد. پروب با سرعت ۶۰ میلی‌متر در دقیقه و نیروی ماشه‌ای ۵ گرمی در وسط نمونه‌های ژل سوریمی نفوذ کرده و فاکتورهای تغییر شکل (قابلیت ارتجاعی/قابلیت تغییر شکل) بر حسب میلی‌متر و حداکثر نیروی شکست (قدرت ژل) بر حسب گرم اندازه‌گیری شدند (Santana et al., 2013).

قابلیت تا شدن ژل سوریمی

ژل‌های تولیدی از یخچال خارج و با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر (۵ قطعه) برش زده شدند و قبل از ارزیابی برای رسیدن به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. آزمایش قابلیت تا شدن ژل به روش استاندارد ژاپنی انجام گرفت (Lanier et al, 2005). هر قطعه آماده شده بین انگشت شست و اشاره قرار داده شد و برای ارزیابی میزان شکستگی یا پارگی در اثر خم شدن، تا شده و مطابق زیر امتیازدهی شدند:

نمونه‌های ژل سوریمی در صورت دو بار تا شدن بدون هیچ‌گونه ترک یا شکستگی کیفیت AA با امتیاز ۵، یک بار تا شدن و بدون هیچ‌گونه ترک یا شکستگی کیفیت A با امتیاز ۴، شکسته شدن تدریجی ژل پس از تا شدن کیفیت B با امتیاز ۳، شکسته شدن ژل به دو قسمت موقع تا کردن کیفیت C با امتیاز ۲ و خرد شدن ژل با فشار انگشتان بدون تا کردن کیفیت D با امتیاز ۱.

ارزیابی حسی ژل سوریمی

۱ Firmness

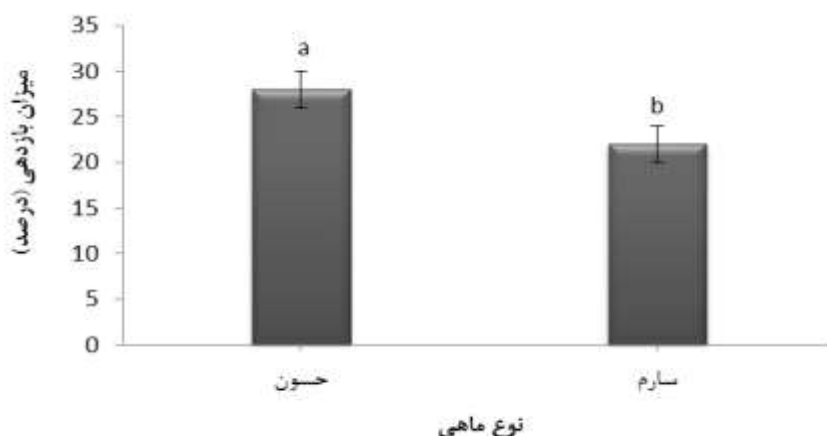
۲ Cohesiveness

۳ Adhesiveness

۴ Springiness

خود بیان کردند افزودن صمغ ژلان به نمونه‌های سوریمی تهیه شده از *Priacanthus macracanthus* با جذب آب منجر به افزایش رطوبت نمونه‌ها می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین بررسی داده‌ها بر حسب نوع ماهی، نشان داد که میزان پروتئین سوریمی حاصل از ماهی حسون از سارم به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده ($p < 0.05$) اما از نظر میزان چربی، خاکستر و رطوبت تفاوت معنی‌داری بین سوریمی دو ماهی مشاهده نشد ($p > 0.05$). مقادیر ترکیب شیمیایی در بدن ماهیان به گونه، نوع تغذیه، محیط زندگی، سن و جنس موجود زنده بستگی دارد (رضوی شیرازی، ۱۳۸۶). Rohani و همکاران (۱۹۹۵)، از سه گونه ماهی تیلاپیا سوریمی تهیه کرده و دریافتند که از نظر چربی و خاکستر اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها نبوده اما تیلاپای قرمز آب شیرین (*Oreochromis spp.*) مقدار پروتئین بیشتری نسبت به دو نوع دیگر دارد. An و همکاران (۱۹۹۴) بیان داشتند که ترکیب شیمیایی سوریمی بسته به گونه ماهی متفاوت است.

ندارد. Hosseini-Shekarabi و همکاران (۲۰۱۴) ترکیب تقریبی سوریمی حاصل از ماهی شوریده دهان سیاه را ۱۴/۷۷٪ پروتئین، ۰/۹۴٪ لیپید، ۰/۵۸٪ خاکستر و ۷۹/۵۸٪ رطوبت گزارش کردند. Pietrowski و همکاران (۲۰۱۱) مقادیر ۷۹/۰۳٪ رطوبت، ۱۱/۳۱٪ پروتئین، ۰/۳۲٪ چربی و ۲/۵۷٪ خاکستر را برای سوریمی حاصل از ماهی آلاسکاپولاک به‌دست آوردند. از آنجا که صمغ کنجاک یک پلی‌ساکارید است بنابراین افزودن آن به فرمولاسیون سوریمی تاثیری بر میزان پروتئین، چربی و خاکستر نمونه‌ها نگذاشته است. از نظر مقدار رطوبت نمونه شاهد با تیمار ۰/۲۵ درصد کنجاک تفاوت معنی‌داری نداشته اما با افزایش سطح کنجاک، مقدار رطوبت نمونه‌های سوریمی هر دو گونه ماهی افزایش معنی‌داری داشت. به‌نظر می‌رسد هیدروکلئید کنجاک موجب افزایش رطوبت در سوریمی شده است. Nie و Li (۲۰۱۵) اظهار داشتند که مولکول‌های هیدروکلئیدها آب را باند کرده و از این جهت خصوصیات مواد غذایی را اصلاح می‌کنند. هیدروکلئیدها با خاصیت آبدوستی خود، آب را جذب کرده و باعث افزایش رطوبت ماده غذایی می‌شوند (Milani and Maleki, 2012). Benjakul و Petcharat (۲۰۱۷)، در مطالعه



شکل ۱- میزان بازدهی (درصد) حاصل از تولید سوریمی از ماهیان سارم و حسون. حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین دو نوع ماهی است.

جدول ۱- میزان رطوبت (%) و خاکستر (%) نمونه‌های سوریمی

نوع ماهی	حسون		سارم	
	رطوبت	خاکستر	رطوبت	خاکستر
شاهد	۷۹/۲۳±۰/۰۳ ^{CA}	۰/۴۵±۰/۰۲ ^{AA}	۸۱/۳۹±۰/۰۲ ^{CA}	۰/۵۱±۰/۰۱ ^{AA}
۰/۲۵٪ کنجاک	۷۹/۴۶±۰/۰۱ ^{CA}	۰/۴۴±۰/۰۱ ^{AA}	۸۱/۵۵±۰/۰۳ ^{CA}	۰/۵۲±۰/۰۲ ^{AA}
۰/۵٪ کنجاک	۸۱/۰۷±۰/۰۲ ^{BA}	۰/۴۳±۰/۰۴ ^{AA}	۸۳/۰۱±۰/۰۳ ^{BA}	۰/۵۰±۰/۰۱ ^{AA}
۰/۷۵٪ کنجاک	۸۲/۸۱±۰/۰۲ ^{AA}	۰/۴۲±۰/۰۱ ^{AA}	۸۴/۲۰±۰/۰۴ ^{AA}	۰/۵۱±۰/۰۴ ^{AA}

مقادیر بر اساس میانگین ± انحراف معیار بیان شده است. حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارهای مختلف در یک نوع ماهی است. حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین دو نوع ماهی است.

جدول ۲- میزان پروتئین (%) و چربی (%) نمونه‌های سوریمی

نوع ماهی تیمار	حسون		سارم	
	پروتئین	چربی	پروتئین	چربی
شاهد	۱۸/۰۶±۰/۰۴ ^{aA}	۰/۵۹±۰/۰۲ ^{aA}	۱۵/۱۹±۰/۰۴ ^{aB}	۰/۶۳±۰/۰۳ ^{aA}
۰/۲۵ % کنجاک	۱۸/۰۱±۰/۰۳ ^{aA}	۰/۵۸±۰/۰۱ ^{aA}	۱۵/۵۷±۰/۰۳ ^{aB}	۰/۶۵±۰/۰۴ ^{aA}
۰/۵ % کنجاک	۱۷/۴۵±۰/۰۵ ^{aA}	۰/۵۷±۰/۰۳ ^{aA}	۱۵/۸۶±۰/۰۷ ^{aB}	۰/۶۴±۰/۰۳ ^{aA}
۰/۷۵ % کنجاک	۱۷/۵۷±۰/۰۲ ^{aA}	۰/۵۷±۰/۰۱ ^{aA}	۱۵/۱۱±۰/۰۱ ^{aB}	۰/۶۴±۰/۰۱ ^{aA}

مقادیر بر اساس میانگین $\pm$ انحراف معیار بیان شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین تیمارهای مختلف در یک نوع ماهی است. حروف بزرگ متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین دو نوع ماهی است.

تغییرات میزان ظرفیت نگهداری آب

ماهی حسون حاوی ۰/۷۵ درصد کنجاک با مقدار ۹۴/۱۱±۰/۱۲ بود و کمترین میزان در نمونه شاهد سوریمی ماهی سارم با مقدار ۴۵/۲۹±۰/۰۹ مشاهده شد.

ظرفیت نگهداری آب از جمله مهمترین پارامترهای سوریمی و محصولات سوریمی است که بیانگر توانایی پروتئین سوریمی در نگهداری آب می‌باشد (Chen et al., 2020). مطابق جدول ۳، بیشترین میزان ظرفیت نگهداری آب مربوط به نمونه ژل سوریمی

جدول ۳- تاثیر افزودن صمغ کنجاک بر میزان ظرفیت نگهداری آب (%) نمونه‌های سوریمی و ژل سوریمی

نوع ماهی تیمار	سوریمی		ژل سوریمی	
	حسون	سارم	حسون	سارم
شاهد	۵۱/۳۳±۰/۱۲ ^{dC}	۴۵/۲۹±۰/۰۹ ^{dD}	۸۲/۴۵±۰/۱۱ ^{dA}	۷۱/۸۲±۰/۱۰ ^{dB}
۰/۲۵ % کنجاک	۵۹/۴۲±۰/۱۰ ^{cC}	۵۰/۰۴±۰/۱۱ ^{cD}	۸۵/۷۷±۰/۰۹ ^{cA}	۷۷/۰۰±۰/۰۹ ^{cB}
۰/۵ % کنجاک	۶۸/۲۳±۰/۰۹ ^{bC}	۵۹/۹۲±۰/۱۰ ^{bD}	۹۰/۲۸±۰/۰۹ ^{bA}	۸۴/۱۱±۰/۱۱ ^{bB}
۰/۷۵ % کنجاک	۷۴/۰۰±۰/۰۹ ^{aC}	۶۸/۷۱±۰/۰۸ ^{aD}	۹۴/۱۱±۰/۱۲ ^{aA}	۸۶/۷۵±۰/۰۷ ^{aB}

مقادیر بر اساس میانگین $\pm$ انحراف معیار بیان شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین تیمارهای مختلف است. حروف بزرگ متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین دو نوع ماهی است.

تشکیل شبکه‌ای می‌دهند که می‌توانند آب را در خود نگه دارند. مشخص شده است که افزودن هیدروکلوئیدها به طور معنی‌داری ظرفیت نگهداری آب سوریمی را افزایش می‌دهند. توانایی صمغ‌ها در اتصال به مولکول‌های آب و تداخل با پروتئین‌ها و در نتیجه پایداری شبکه پروتئین‌ها می‌تواند از حرکت آزادانه آب جلوگیری کرده و منجر به افزایش WHC گردد. هیدراته شدن یا جذب آب، از خواص مهم صمغ‌ها می‌باشد (Ramirez et al., 2011). Chen و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که افزودن هیدروکلوئیدهای کردلان و کاراگینان به سوریمی تهیه شده از ماهی کپور نقره‌ای ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهند. در اثر افزودن هیدروکلوئیدها ساختار شبکه قوی‌تری بین پروتئین سوریمی و هیدروکلوئیدها ایجاد شده که می‌تواند آب را بهتر در خود نگه دارند. اما در مقابل، بیان کردند که صمغ زانتان بر ظرفیت نگهداری آب سوریمی تاثیر منفی داشته چرا

با افزایش سطح کنجاک، میزان ظرفیت نگهداری آب نمونه‌های سوریمی و ژل سوریمی هر دوگونه ماهی افزایش معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). بررسی داده‌ها بر حسب نوع ماهی، نشان داد که در غلظت‌های یکسان کنجاک، میزان ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها دارای تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.05$)، به‌طوری که در تمام غلظت‌های یکسان کنجاک، ژل ماهی حسون بیشترین میزان ظرفیت نگهداری آب و سوریمی ماهی سارم دارای کمترین میزان ظرفیت نگهداری آب بود ($P < 0.05$). ظرفیت نگهداری آب سوریمی مربوط به پروتئین‌های میوفیبریل است. اثر متقابل پروتئین و آب بر ماهیت بافت، آبداری، تردی، رنگ و طعم سوریمی تأثیرگذار می‌باشد (Ingadottir & Kristinson, 2010). در سوریمی پروتئین‌های میوفیبریل از طریق پیوند با آب، آب را جذب می‌کنند. زمانی که سوریمی تحت فرایند حرارتی قرار می‌گیرد پروتئین‌ها دناتوره شده و

که وزن مولکولی بالای این صمغ مانع از تشکیل ساختار شبکه ژل سوریمی می‌شود. تاثیر صمغ کنجاک گلوکومانان در بهبود خصوصیات تشکیل ژل و افزایش WHC در سوریمی با کیفیت پایین ثابت شده است (Liu et al., 2013). به‌طور مشابه، Benjakul و Petcharat (۲۰۱۷)، نشان دادند که به‌کار بردن صمغ ژلان در تولید سوریمی از طریق ایجاد شبکه قوی‌تر و نگه داشتن آب بیشتر در شبکه ژل، منجر به افزایش WHC می‌شود. همچنین تاثیر افزودن صمغ کنجاک و CMC (کربوکسی متیل سلولز) در افزایش WHC فرآورده‌های ماهی بازسازی شده ثابت شده است (Andrés-Bello et al., 2012). از خصوصیات مهم صمغ کنجاک این است که این صمغ در آب در دمای معمولی قابلیت جذب خوب آب را دارد (Yang et al., 2017) که در تحقیق حاضر مشهود بود. به‌علاوه مشخص شده است که ظرفیت نگهداری آب رابطه مستقیمی با مقدار پروتئین میوفیبریل دارد (Smith, 1991). Phu و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که خواص کاربردی سوریمی از قبیل ظرفیت نگهداری آب تحت تاثیر عوامل مختلفی از قبیل گونه ماهی، غلظت پروتئین، دما و ... قرار می‌گیرد. بنابراین تفاوت در میزان نگهداری آب در دو گونه ماهی مربوط به تفاوت در میزان پروتئین آن‌هاست. وجود پروتئین بیشتر، ظرفیت نگهداری آب را بالاتر می‌برد که در پژوهش حاضر میزان بالای پروتئین ماهی حسون ظرفیت نگهداری آب بالاتری را نشان داد.

تغییرات رنگ سوریمی و ژل سوریمی

نتایج ارزیابی شاخص‌های رنگی سوریمی و ژل سوریمی تیمار شده با درصدهای مختلف صمغ کنجاک در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. با افزودن کنجاک میزان روشنایی سوریمی و ژل سوریمی هر دو نوع ماهی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد ($p < 0.05$). Savadkoobi و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی نشان دادند که با افزایش محتوای آب در نمونه‌ها میزان روشنایی کاهش می‌یابد. بنابراین با افزایش غلظت کنجاک در سطح ۰/۷۵ درصد میزان آب نمونه‌ها افزایش و میزان روشنایی کاهش یافت. همچنین میزان روشنایی ژل سوریمی نسبت به سوریمی در هر دو نوع ماهی به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است که به دلیل دناتوره شدن پروتئین‌ها در اثر فرایند حرارتی می‌باشد (Fogaca et al., 2013). میزان روشنایی سوریمی و ژل سوریمی ماهی حسون بیشتر از ماهی سارم به‌دست آمد ($p < 0.05$). به‌نظر می‌رسد دلیل این امر وجود رنگدانه‌های بیشتر در گوشت ماهی سارم است. رنگدانه میوگلوبین مهم‌ترین ترکیب در ماهیان با رنگ گوشت تیره می‌باشد. مشخص شده است که در شستشوی اول مقدار زیادی از این رنگدانه خارج می‌شود اما در شستشوی بعدی تنها مقدار اندکی از آن خارج می‌گردد. Chaijan و همکاران (۲۰۰۴) از ماهی ساردین (Sardinella

gibbosa) که گوشت تیره‌ای دارد سوریمی تهیه کردند و گزارش کردند که جهت تولید سوریمی از ماهیان با گوشت تیره عوامل مختلفی بر رنگ سوریمی تاثیر گذارند. آن‌ها تعداد دفعات شستشو، زمان شستشو، نسبت آب مورد استفاده جهت شستشو، میزان نمک مورد استفاده به هنگام شستشو از عمده عوامل موثر بر میزان خارج شدن میوگلوبین و رنگ نهایی سوریمی را بیان کردند. بنابراین جهت رسیدن به سوریمی با رنگ بهتر از ماهی سارم، افزایش تعداد دفعات شستشو، زمان شستشو و افزایش غلظت نمک مورد استفاده پیشنهاد می‌شود. در سوریمی و ژل سوریمی حاصل از ماهی حسون اختلاف معنی‌داری در قرمزی تیمارها مشاهده نشد ($p > 0.05$). نمونه کنترل و غلظت ۰/۲۵ درصد کنجاک در سوریمی ماهی سارم نسبت به بقیه تیمارها قرمزی بیشتری نشان داد اما در ژل حاصل، قرمزی بین تیمارها معنی‌دار نبود. به‌نظر می‌رسد افزایش کنجاک منجر به پوشش قرمزی نمونه‌ها شده است. در کل قرمزی ژل سوریمی از سوریمی حاصل از هر دو نوع ماهی به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p < 0.05$). رنگدانه‌های درونی به‌طور طبیعی در گونه‌هایی با ماهیچه تیره بیشترین تاثیر را دارند. افزودن کنجاک در ماهیان با گوشت تیره، سبب احاطه شدن رنگدانه‌های تیره توسط کنجاک شده و سبب کاهش قرمزی می‌گردد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۶). این نتایج با مطالعه Rohani و همکاران (۱۹۹۵) و Jung و Yoo (۲۰۰۵) مطابقت داشت. فاکتور (b^*) که تمایل به زردی نمونه‌ها را نشان می‌دهد با توجه به جدول‌های ۴ و ۵، بین تیمارها در ماهی حسون اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($p > 0.05$). از آنجا که کنجاک رنگی سفید دارد لذا افزودن آن تاثیری بر فاکتور زردی نمونه‌ها نگذاشته است. نمونه شاهد و تیمار ۰/۲۵ درصد سوریمی ماهی سارم میزان زردی بیشتری را نسبت به ماهی حسون نشان دادند که احتمالاً به دلیل حضور رنگدانه‌های بیشتر و خارج نشده در ماهی سارم می‌باشد. اما در ژل تولیدی حاصل، میزان زردی کاهش یافت که نشان می‌دهد تشکیل ساختار ژلی توسط کنجاک و پیوند با پروتئین رنگدانه زردی را احاطه کرده و زردی نمونه را پوشش می‌دهد. Chen و همکاران (۲۰۲۰) عنوان کردند که با افزایش ژلاتین میزان روشنایی ژل‌های سوریمی نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌یابد اما افزودن صمغ زانتان تاثیری بر روشنایی و سفیدی نمونه‌ها نداشته است. تفاوت در رنگ، با نوع ماهیچه ماهی و نوع صمغ افزوده شده مرتبط است (Montero et al., 2000). Zhang و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند ژلاتینه شدن، تورم نشاسته و تشکیل ژل منجر به کاهش زردی نمونه‌های سوریمی حاوی نشاسته می‌شود. همچنین، Eom و همکاران (۲۰۱۳)، گزارش کردند در اثر تورم گرانول‌های صمغ کاراگینان و انبساط آن‌ها، ژل سوریمی مات‌تر شده و کاهش روشنایی را سبب می‌شود. مطابق با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، hua و Chang-hu (۲۰۰۹) کاهش روشنایی سوریمی را با افزایش صمغ کنجاک مشاهده کردند.

جدول ۴- تاثیر افزودن صمغ کنجاک بر تغییرات رنگ سنجی نمونه‌های سوریمی دو نوع ماهی سارم و حسون				
نوع ماهی	درصد کنجاک	فاکتور روشنایی (L*)	فاکتور سبزی-قرمزی (a*)	فاکتور آبی-زردی (b*)
حسون	۰٪ (شاهد)	۹۱/۰۰±۱/۷۳ ^{aA}	۲/۶۷±۰/۵۷ ^{aB}	۸/۰۰±۱/۷۳ ^{aB}
	۰/۲۵٪	۸۷/۰۰±۱/۶۴ ^{bA}	۲/۳۳±۱/۱۵ ^{aB}	۸/۲۷±۱/۵۲ ^{aB}
	۰/۵٪	۸۳/۶۷±۰/۸۷ ^{cA}	۲/۱۳±۱/۱۵ ^{aA}	۸/۰۰±۱/۰۰ ^{aA}
	۰/۷۵٪	۷۹/۰۰±۱/۲۴ ^{dA}	۲/۳۰±۲/۰۰ ^{aA}	۷/۹۰±۱/۲۰ ^{aA}
سارم	۰٪ (شاهد)	۸۱/۶۷±۱/۱۴ ^{aB}	۴/۰۰±۱/۶۰ ^{aA}	۱۱/۳۳±۱/۵۲ ^{aA}
	۰/۲۵٪	۷۷/۶۷±۱/۵۲ ^{bB}	۳/۶۷±۰/۵۷ ^{aA}	۱۰/۲۷±۱/۳۱ ^{bA}
	۰/۵٪	۷۲/۳۳±۲/۰۸ ^{cB}	۲/۳۳±۰/۵۰ ^{bA}	۹/۱۷±۰/۹۷ ^{cA}
	۰/۷۵٪	۶۸/۳۳±۱/۵۱ ^{dB}	۲/۴۰±۱/۰۸ ^{bA}	۹/۲۱±۱/۰۰ ^{cA}

مقادیر بر اساس میانگین $\pm$ انحراف معیار بیان شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارهای مختلف در یک ماهی است. حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین دو نوع ماهی در تیمار یکسان است.

جدول ۵- تاثیر افزودن صمغ کنجاک بر تغییرات رنگ سنجی نمونه‌های ژل سوریمی دو نوع ماهی سارم و حسون				
نوع ماهی	درصد کنجاک	فاکتور روشنایی (L*)	فاکتور سبزی-قرمزی (a*)	فاکتور آبی-زردی (b*)
حسون	۰٪ (شاهد)	۹۵/۱۷±۱/۰۲ ^{aA}	۱/۳۳±۰/۵۷ ^{aB}	۸/۱۵±۱/۰۴ ^{aB}
	۰/۲۵٪	۹۲/۰۸±۱/۳۱ ^{bA}	۱/۲۷±۱/۱۵ ^{aA}	۸/۱۷±۱/۱۰ ^{aA}
	۰/۵٪	۸۷/۶۷±۱/۲۷ ^{cA}	۱/۲۷±۱/۱۰ ^{aA}	۸/۰۳±۱/۰۰ ^{aA}
	۰/۷۵٪	۸۴/۱۰±۰/۹۴ ^{dA}	۱/۲۲±۱/۱۱ ^{aA}	۸/۱۰±۱/۱۰ ^{aA}
سارم	۰٪ (شاهد)	۸۹/۲۸±۱/۳۴ ^{aB}	۲/۳۳±۱/۵۲ ^{aA}	۹/۱۵±۱/۰۴ ^{aA}
	۰/۲۵٪	۸۴/۲۷±۱/۵۱ ^{bB}	۱/۲۵±۰/۰۲ ^{bA}	۸/۰۹±۱/۱۱ ^{bA}
	۰/۵٪	۸۰/۱۱±۱/۰۴ ^{cB}	۱/۳۰±۱/۱۵ ^{bA}	۸/۱۱±۱/۲۰ ^{bA}
	۰/۷۵٪	۷۶/۱۷±۱/۲۳ ^{dB}	۱/۳۱±۱/۱۲ ^{bA}	۸/۱۷±۱/۰۶ ^{bA}

مقادیر بر اساس میانگین $\pm$ انحراف معیار بیان شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارهای مختلف است. حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین دو نوع ماهی در تیمار یکسان است.

تغییرات بافت ژل سوریمی

اثرات افزودن غلظت‌های مختلف هیدروکلوئید کنجاک بر پارامترهای ساختار بافت نمونه‌های ژل سوریمی حاصل از دو ماهی سارم و حسون، در جدول‌های ۶ و ۷ آورده شده است. نتایج میانگین داده‌های این آزمون نشان داد که مقادیر مربوط به بافت (سفتی، چسبندگی، پیوستگی، فنری و قابلیت جویدن) در نمونه‌های ژل سوریمی با افزایش مقادیر کنجاک افزایش معنی‌داری داشته است ($p < 0.05$). افزایش سفتی تمام نمونه‌ها به تناسب افزایش کنجاک، نشان می‌دهد افزودن این هیدروکلوئید موجب افزایش سفتی بافت شده است ($p < 0.05$). به هنگام فرآیند قوام‌یابی در دمای 25°C ، شبکه پروتئینی تشکیل می‌شود که این شبکه از طریق ایجاد پیوندهای ضعیف مانند پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های پروتئین شکل می‌گیرد. اما به هنگام پخت در دمای 90°C دناتوره شدن

زنجیره سنگین میوزین و اکتومیوزین رخ می‌دهد. پروتئین‌های واسرشته تمایل به تجمع از طریق گروه‌های واکنشی داشته که در نهایت با تشکیل پیوندهای هیدروفوب-هیدروفوب و پیوندهای دی‌سولفیدی، شبکه ژل مستحکم و برگشت‌ناپذیر ایجاد می‌شود (Buamard & Benjakul, 2015). افزودن صمغ کنجاک به‌عنوان یک پرکننده در ماتریس ژل سوریمی در پیوندهای پروتئین سوریمی نقش ایفا کرده و سبب انسجام بیشتر شبکه پروتئینی ژل سوریمی می‌شود. Montero و Pérez-Mateos (۲۰۰۲) دریافتند که ژل‌های ماهی حاوی هیدروکلوئیدهایی از جمله آلژینات سفتی بیشتری نسبت به نمونه بدون هیدروکلوئید دارند. نتایج حاضر با یافته‌های Santana و همکاران (۲۰۱۳) نیز مطابقت دارد. در ارتباط با چسبندگی نمونه‌ها، می‌توان گفت که با توجه به این که نیروی چسبندگی، نیروی لازم جهت غلبه بر نیروی جاذبه سطحی بین ذرات است، لذا هرچه ساختار

مربوط به نمونه حاوی ۰/۱۵ درصد کاپاکاراگینان و کمترین میزان پیوستگی مربوط به نمونه شاهد بود، البته نمونه‌های حاوی آلژینات سدیم نیز به‌طور معنی‌داری پیوستگی نمونه‌های سویا برگر را نسبت به نمونه شاهد افزایش دادند. Jiménez-Colmenero و همکاران نیز (۲۰۱۰) عنوان کردند که افزودن کنجاک به نمونه‌های سوسیس فرانکفورت کم‌چرب منجر به بهبود پیوستگی نسبت به نمونه شاهد می‌شود. نتایج حاصل از آزمون فنریت نشان داد با افزایش مقدار کنجاک این فاکتور نیز زیاد می‌شود. تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که صمغ کنجاک با قابلیت جذب آب و تولید ژل مقاوم به حرارت، یک ماتریکس ژلی ویسکوالاستیک تولید کرده که پارامترهای آزمون TPA از جمله فنریت را بهبود می‌بخشد (Chin et al., 1998).

ژلی و شبکه پروتئینی نمونه‌ها از سفتی بیشتری برخوردار باشد، نیروی چسبندگی نیز بیشتر خواهد بود که نتایج حاصل از آزمایش سفتی بافت نیز آن را تأیید می‌کند (Jiménez-Colmenero et al., 2010). به میزان توانایی نمونه در برابر نیرو قبل از پاره شدن و تغییر شکل، پیوستگی می‌گویند که فاکتور بدون واحد است (Kumar and Mishra, 2004). با توجه به نتایج به‌دست آمده مطابق جدول ۶، با افزایش درصد کنجاک پیوستگی نمونه‌های ژل سوریمی هر دو نوع ماهی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد صمغ به‌کار رفته با پروتئین‌های موجود در محصول اتصالات قوی ایجاد کرده که مانع از پارگی و تغییر شکل محصول شده‌اند. خسرونژاد (۱۳۹۳)، به بررسی اثر افزودن هیدروکلوئیدها بر ویژگی‌های کیفی برگر گیاهی طی ماندگاری پرداخت که بیشترین میزان پیوستگی

جدول ۶- تاثیر افزودن صمغ کنجاک بر تغییرات بافت (سفتی، چسبندگی و پیوستگی) نمونه‌های ژل سوریمی دو نوع ماهی سارم و حسون

تیماها	سفتی (کیلوگرم)		چسبندگی (میلی ژول)		پیوستگی	
	حسون	سارم	حسون	سارم	حسون	سارم
شاهد	۷/۸۹±۰/۰۵ ^{dA}	۶/۲۴±۰/۰۴ ^{dB}	۱/۷۵±۰/۰۵ ^{dA}	۱/۵۵±۰/۰۵ ^{dB}	۰/۶۱±۰/۰۱ ^{dA}	۰/۵۵±۰/۰۳ ^{dB}
۲۵٪ کنجاک	۸/۰۴±۰/۰۴ ^{cA}	۷/۶۶±۰/۰۴ ^{cC}	۱/۸۸±۰/۰۲ ^{cA}	۱/۷۱±۰/۰۲ ^{cB}	۰/۶۸±۰/۰۱ ^{cA}	۰/۶۰±۰/۰۲ ^{cB}
۵٪ کنجاک	۸/۶۰±۰/۰۵ ^{bA}	۸/۱۰±۰/۰۵ ^{bB}	۲/۳۸±۰/۰۲ ^{bA}	۱/۸۹±۰/۰۱ ^{bB}	۰/۷۴±۰/۰۲ ^{bA}	۰/۶۴±۰/۰۲ ^{bB}
۷۵٪ کنجاک	۸/۹۱±۰/۰۲ ^{aA}	۸/۳۳±۰/۰۲ ^{aB}	۲/۵۱±۰/۰۲ ^{aA}	۲/۱۱±۰/۰۳ ^{aB}	۰/۷۹±۰/۰۲ ^{aA}	۰/۷۲±۰/۰۲ ^{aB}

مقادیر بر اساس میانگین ± انحراف معیار بیان شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارهای مختلف است. حروف بزرگ متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین دو نوع ماهی در همان تیمار است.

جدول ۷- تاثیر افزودن صمغ کنجاک بر تغییرات بافت (فنریت و قابلیت جویدن) نمونه‌های ژل سوریمی دو نوع ماهی سارم و حسون

تیماها	فنریت (میلی متر)		قابلیت جویدن (گرم میلی متر)	
	حسون	سارم	حسون	سارم
شاهد	۰/۹۸±۰/۰۲ ^{dA}	۰/۹۰±۰/۰۲ ^{dB}	۱/۹۱±۰/۰۳ ^{dA}	۱/۸۷±۰/۰۳ ^{dB}
۲۵٪ کنجاک	۱/۱۲±۰/۰۲ ^{cA}	۱/۰۳±۰/۰۲ ^{cB}	۲/۰۴±۰/۰۲ ^{cA}	۱/۹۹±۰/۰۱ ^{cB}
۵٪ کنجاک	۱/۳۵±۰/۰۳ ^{bA}	۱/۱۸±۰/۰۲ ^{bB}	۲/۴۷±۰/۰۳ ^{bA}	۲/۰۹±۰/۰۳ ^{bB}
۷۵٪ کنجاک	۱/۶۳±۰/۰۲ ^{aA}	۱/۲۹±۰/۰۱ ^{aB}	۲/۸۳±۰/۰۲ ^{aA}	۲/۳۱±۰/۰۲ ^{aB}

مقادیر بر اساس میانگین ± انحراف معیار بیان شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارهای مختلف است. حروف بزرگ متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین دو نوع ماهی در همان تیمار است.

(Muthia et al., 2010). حسینی شکرابی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که افزودن هیدروکلوئیدهای مختلف منجر به افزایش قابلیت جویدن ژل سوریمی حاصل از ماهی شوریده دهان سیاه نسبت به نمونه شاهد می‌شود. همچنین مشخص شد مقادیر پارامترهای بافتی مربوط به ژل سوریمی ماهی حسون بیشتر از ماهی سارم می‌باشد ($p < 0.05$). سفتی بافت به شدت تحت تأثیر غلظت پروتئین در محصولات فرآوری شده بر پایه گوشت است. از آنجا که سوریمی پروتئین تغلیظ شده میوفیبریل از گوشت ماهی می‌باشد لذا تفاوت

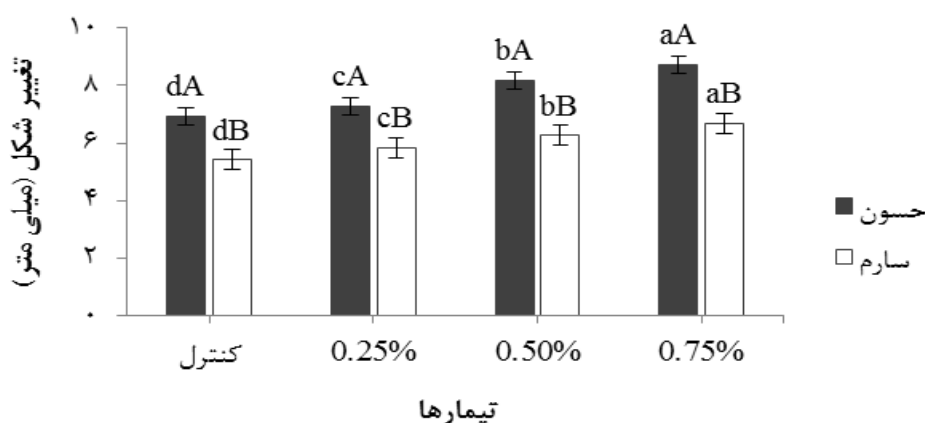
با توجه به آنالیز داده‌های مربوط به فاکتور جویدن که در جدول ۸ آمده است، نمونه‌های حاوی صمغ کنجاک نسبت به نمونه شاهد اختلاف معنی‌دار داشته ($p < 0.05$) و با افزایش میزان صمغ کنجاک این قابلیت نیز افزایش می‌یابد. پارامتر قابلیت جویدن مضربی از چسبندگی و ارتجاعیت است. افزایش میزان قابلیت جویدن با افزایش میزان چسبندگی نمونه‌ها ارتباط دارد. حضور صمغ‌ها در محصول به دلیل ایجاد اتصالات با پروتئین‌های موجود، ماتریکس با دانسیته بیشتر تشکیل داده و سبب افزایش نیروی برشی در فرآورده‌ها می‌شود

ویژگی‌های بافتی ژل سوریمی ماهی سارم نسبت به ماهی حسون به دلیل تفاوت در غلظت پروتئین‌های میوفیبریلی موجود در ماهی سارم می‌باشد. پایین بودن راندمان و میزان پروتئین ماهی سارم مبین این ویژگی است. park (۲۰۱۴) فرایند شست و شو و افزایش کمی و کیفی پروتئین‌های نامحلول در سوریمی را از جمله عوامل موثر بر بهبود کیفیت سوریمی عنوان کرد

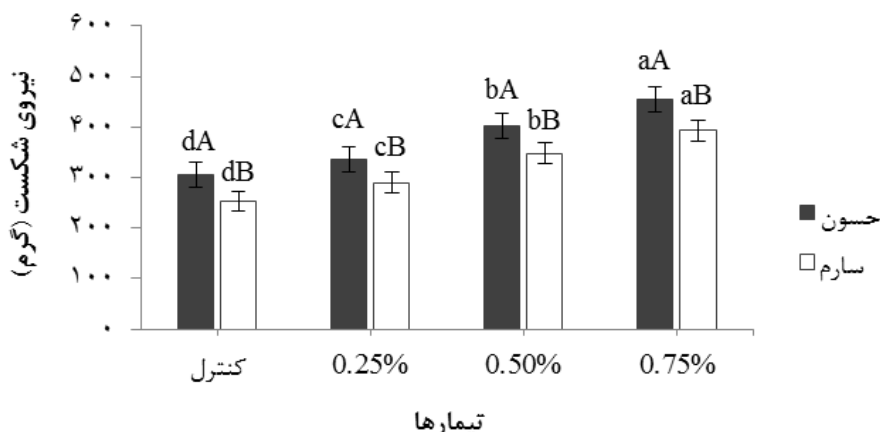
آزمون نفوذ

آزمون نفوذ به منظور بررسی فاکتورهای حداکثر نیروی شکست (قدرت ژل) بر حسب گرم و تغییر شکل (قابلیت ارتجاعی/ قابلیت تغییر شکل) بر حسب میلی‌متر تعیین شد. میزان عمقی که پروب دستگاه به نمونه‌ها نفوذ می‌کند تا جایی که نمونه شروع به تغییر شکل دهد عمق نفوذ می‌باشد. شکل ۲، تاثیر افزودن کنجاک بر میزان عمق نفوذ نمونه‌های ژل سوریمی را نشان می‌دهد. مطابق شکل، بیشترین میزان نفوذ مربوط به نمونه ژل سوریمی ماهی حسون حاوی ۷۵/۰ درصد کنجاک با مقدار $8/74 \pm 0/12$ میلی‌متر و کمترین میزان نفوذ در نمونه شاهد سارم با مقدار $5/41 \pm 0/18$ میلی‌متر مشاهده شد. با افزایش سطح کنجاک، مقدار نفوذ در نمونه‌های ژل هر دو ماهی مورد بررسی، افزایش معنی‌داری داشت ($p < 0/05$). بررسی داده‌ها بر حسب نوع ماهی، نشان داد که در غلظت‌های مشابه کنجاک، میزان نفوذ دارای تفاوت معنی‌دار است ($p < 0/05$). به طوری که در تمام غلظت‌های کنجاک، ژل ماهی حسون بیشترین میزان نفوذ را نسبت به ژل ماهی سارم داشت ($p < 0/05$). همچنین در این آزمون مقدار نیروی لازم برای تغییر شکل نمونه پس از ورود پروب اندازه‌گیری شد. مطابق شکل ۳، بیشترین نیروی نفوذ مربوط به نمونه ژل سوریمی ماهی حسون حاوی ۷۵/۰ درصد کنجاک با مقدار $455/54 \pm 2/34$ گرم و کمترین نیرو در نمونه شاهد ماهی سارم با

مقدار $253/62 \pm 1/87$ گرم مشاهده شد. با افزایش سطح کنجاک، نیروی شکست برای هر دو نوع ماهی مورد بررسی، افزایش معنی‌داری داشت ($p < 0/05$). بررسی داده‌ها بر حسب نوع ماهی، نشان داد که در غلظت‌های مشابه کنجاک، نیروی شکست ژل ماهی حسون بیشتر از ماهی سارم است. در این آزمون قدرت ژل حاصله مورد بررسی قرار گرفت. تشکیل ژل هم به مقدار پروتئین و هم به خصوصیات عملکردی پروتئین در تشکیل ژل مربوط می‌باشد. در این آزمون مشخص شد با اضافه کردن کنجاک، ژل مستحکم‌تری بدست آمده که منجر به افزایش نیروی شکست و میزان تغییر شکل نسبت به نمونه شاهد شد. استحکام ژل به میزان هیدروکلوئید، فرایند شست و شو و تهیه سوریمی، میزان پروتئین‌های نامحلول در سوریمی و نوع ماهی بستگی دارد (Ding et al. 2011). ژل ضعیف‌تر حاصل از ماهی سارم نسبت به ماهی حسون را می‌توان به نوع ماهی و مقدار کمتر پروتئین نسبت داد. Hai-hua و Chang-hu (۲۰۰۹) تاثیر هیدروکلوئیدهای مختلف را بر ویژگی‌های ژل سوریمی بررسی کردند و عنوان کردند که نوع هیدروکلوئید و مقدار افزودن آن بر ژل سوریمی تاثیرگذار است. کاراگینان و آگار به طور معنی‌داری منجر به افزایش نیروی شکست شده و با افزایش غلظت آن‌ها نیز این فاکتور افزایش پیدا می‌کند. Chen و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در ایجاد شبکه ژلی پیوندهای هیدروفوب مهم‌ترین عامل می‌باشند و افزودن صمغ‌هایی مانند کردلان، ژلاتین و کاپاکاراگینان منجر به افزایش پیوندهای هیدروفوب پروتئین-هیدروکلوئید شده و در نتیجه قدرت ژل و استحکام آن افزایش می‌یابد. حرارت دادن باعث دنا توره شدن پروتئین‌های میوفیبریلی و ظاهر شدن گروه‌های هیدروفوب میوزین شده که برای تجمع و پیوندهای عرضی بین پروتئین‌ها مفید است (Zhou et al., 2017).



شکل ۲- تغییر شکل (میلی‌متر) ژل‌های سوریمی حاصل از ماهیان سارم و حسون تیمار شده با غلظت‌های مختلف صمغ کنجاک. حروف کوچک متفاوت روی هیستوگرام نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) بین تیمارهای مختلف است. حروف بزرگ متفاوت روی هیستوگرام نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) بین دو نوع ماهی است.

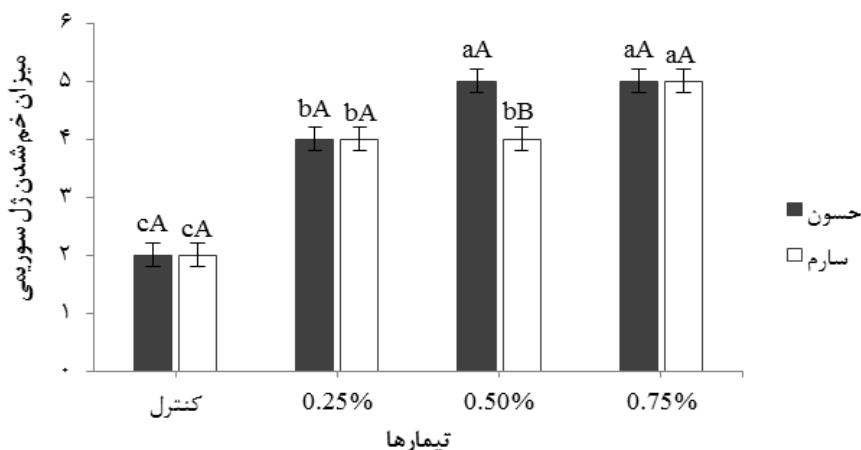


شکل ۳- نیروی شکست (گرم) ژل‌های سوریمی حاصل از ماهیان سارم و حسن تیمار شده با غلظت‌های مختلف صمغ کنجاک. حروف کوچک متفاوت روی هیستوگرام نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین تیمارهای مختلف است. حروف بزرگ متفاوت روی هیستوگرام نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین دو نوع ماهی است.

کیفیت پایین است. اگر چه مقدار پروتئین تنها عاملی نیست که توانایی تشکیل ژل سوریمی را تعیین می‌کند. هم مقدار پروتئین و هم کیفیت عملکرد پروتئین‌ها بر خصوصیات بافت ژل‌های سوریمی تأثیر می‌گذارد (Rohani et al., 1995). Santana و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند در نمونه‌های سوسیس ماهی فرموله شده با پودر سوریمی که هیدروکلوئیدهایی مانند کنجاک و آلژینات به آن‌ها اضافه شده بود، امتیاز نمونه‌های تولیدی در آزمون تا شدن، ۵ به‌دست آمد. در مطالعه Sánchez-Alonso و همکاران (۲۰۰۷)، با افزودن فیبر گندم به سوریمی ماهی مرکب نمونه‌ها بیشترین امتیاز قابلیت تا شدن را کسب کردند.

تغییرات میزان خم شدن ژل سوریمی

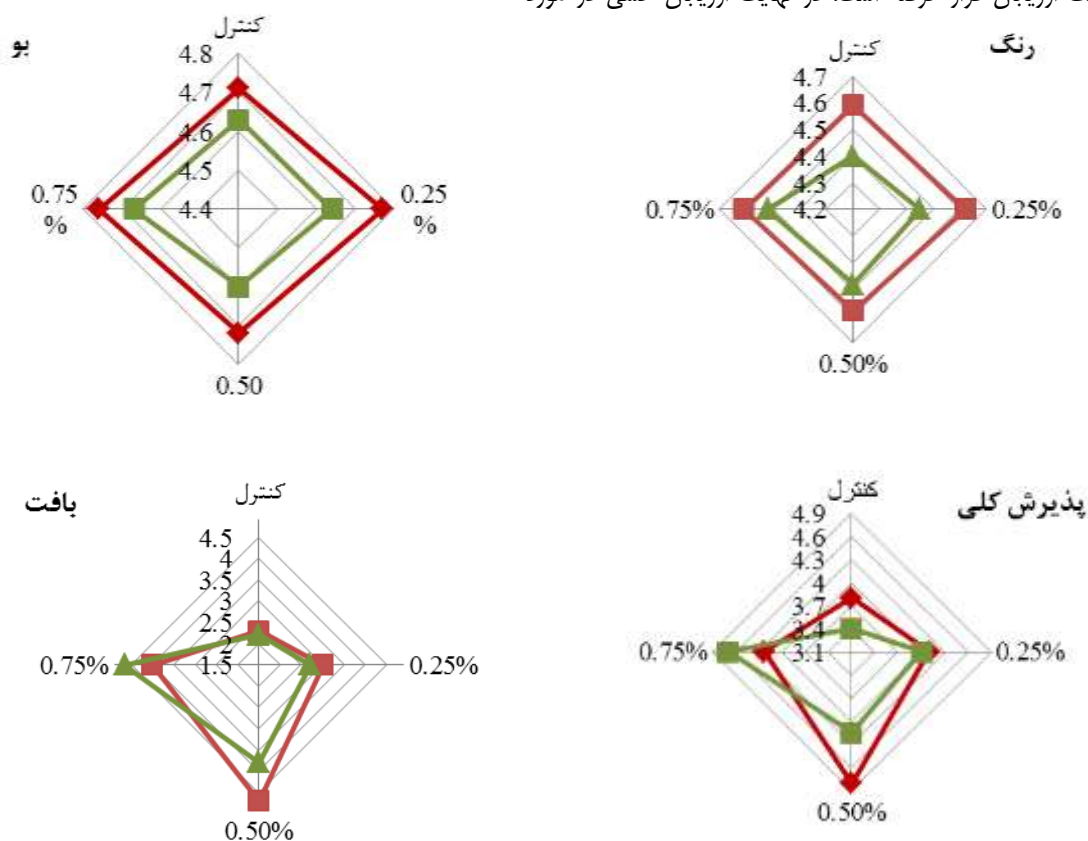
توانایی سوریمی جهت تشکیل ژل مستحکم و الاستیک با آزمون قابلیت تا شدن مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). نمونه شاهد هر دو نوع ماهی کمترین امتیاز را کسب کرد. اما با افزایش درصد کنجاک این قابلیت بهتر شده و نمونه‌ها امتیاز بالاتری بدست آوردند. در غلظت ۵٪ کنجاک، امتیاز نمونه ژل حاصل از ماهی حسن AA (۵) بود اما ژل ماهی سارم امتیاز A (۴) را کسب کرد. با افزایش غلظت کنجاک به ۷۵٪ ژل حاصل از هر دو نوع ماهی امتیاز AA (۵) را به‌دست آوردند که نشان می‌دهد افزودن صمغ کنجاک منجر به بهبود خصوصیات ژل ماهی سارم شده است. آزمون قابلیت تا شدن، روشی مناسب جهت جدا کردن سوریمی با کیفیت بالا از سوریمی با



شکل ۴- میزان خم شدن ژل‌های سوریمی حاصل از ماهیان سارم و حسن تیمار شده با غلظت‌های مختلف صمغ کنجاک. حروف کوچک متفاوت روی هیستوگرام نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین تیمارهای مختلف است. حروف بزرگ متفاوت روی هیستوگرام نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین دو نوع ماهی است.

ارزیابی حسی ژل سوریمی

نتایج ارزیابی حسی ژل‌های سوریمی حاصل از دو ماهی سارم و حسون دارای درصدهای مختلف کنجاک در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش سطوح کنجاک اختلاف معنی‌داری در هیچ یک از شاخص‌های بو و رنگ نسبت به نمونه شاهد مشاهده نشد ($p > 0.05$). ارزیابی‌های حسی نشان داد که نمونه‌ها از لحاظ بافتی با هم متفاوت بوده و افراد ارزیاب در مورد ژل سوریمی حاصل از ماهی حسون بیشترین امتیاز را به نمونه ۰/۵٪ و در مورد ماهی سارم به نمونه ۰/۷۵٪ کنجاک اختصاص دادند ($p < 0.05$). به نظر می‌رسد نمونه ۰/۷۵٪ ماهی حسون به دلیل سفتی زیاد مورد رضایت ارزیابان نبوده اما در مورد ماهی سارم با افزایش غلظت کنجاک ویژگی‌های بافتی آن بهبود یافته و غلظت ۰/۷۵٪ مورد رضایت ارزیابان قرار گرفته است. در نهایت ارزیابان حسی در مورد



شکل ۵- نتایج ارزیابی حسی ژل‌های سوریمی حاصل از ماهی سارم و حسون. خطوط سبز مربوط به ماهی سارم و خطوط قرمز مربوط به ماهی حسون می‌باشند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه به منظور بررسی تاثیر کنجاک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی سوریمی و ژل سوریمی حاصل از ماهیان سارم و حسون صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش درصد صمغ کنجاک به نمونه‌های سوریمی و ژل سوریمی هر دو گونه

ماهی حسون، نمونه ۰/۵٪ کنجاک و در مورد ماهی سارم، نمونه ۰/۷۵٪ کنجاک را به عنوان بهترین نمونه انتخاب کردند که مربوط به ویژگی‌های بافتی آن‌ها می‌باشد. فرایند شست و شوی سوریمی موجب حذف مواد دارای بو می‌شود. همچنین در طی شست و شو میزان چربی بسیار کم می‌شود. Keeton و Osburn (۲۰۰۴) نشان دادند که استفاده از صمغ کنجاک در فرمولاسیون سوسیس کم‌چرب از نظر خصوصیات حسی تفاوت قابل درکی بین سطوح مختلف کنجاک مشاهده نشد. Santana و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که در بین هیدروکلوئیدهای مورد استفاده در تهیه سوسیس فرموله شده با پودر سوریمی، صمغ کنجاک به دلیل ایجاد ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و خصوصیات حسی مطلوب بهترین صمغ برای تولید این محصول می‌باشد.

ماهی، رطوبت و ظرفیت نگهداری آب افزایش یافته اما مقادیر روشنایی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت. با ارزیابی ژل حاصل از هر دو ماهی مشخص شد افزودن کنجاک ویژگی‌های بافتی و پارامترهای نیروی شکست و تغییر شکل نمونه‌ها را بهبود بخشیده و افزایش می‌دهد. از طرفی ماهی حسون در

بهترین نمونه ارزیابی کردند. بنابراین با استفاده از غلظت مناسب صمغ کنجاک می‌توان ویژگی‌های ژل سوریمی را بهبود بخشیده و یک محصول با کیفیت بالا و پذیرش قابل قبول تولید کرد.

مقایسه با ماهی سارم ژل با کیفیت‌تر و مستحکم‌تری تولید می‌کند. همچنین نتایج ارزیابی حسی و قابلیت تا شدن ژل‌های سوریمی نشان داد ارزیابان حسی ژل سوریمی ماهی حسون با غلظت ۰/۵٪ کنجاک و ژل سوریمی ماهی سارم با غلظت ۰/۷۵٪ کنجاک را به‌عنوان

منابع

- Al-Ghazzewi, F., Khanna, H. S., Tester, R. F., & Piggott, J. (2007). The potential use of hydrolysed konjac glucomannan as a prebiotic. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(9), 1758-1766.
- An, H., Weerasinghe, V., Seymour, T. A., & Morrissey, M. T. (1994). Cathepsin degradation of Pacific whiting surimi proteins. *Journal of Food Science*, 59, 1013-1017.
- Andrés-Bello, A., Iborra-Bernad, C., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2012). Effect of konjac glucomannan (KGM) and carboxymethylcellulose (CMC) on some physico-chemical and mechanical properties of restructured gilthead sea bream (*Sparus aurata*) products. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 133-145.
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists 18th ed. (William, S., ed.) Washington D. C.: AOAC.
- Buamard, N., & Benjakul, S. (2015). Improvement of gel properties of sardine (*Sardinella albella*) surimi using coconut husk extracts. *Food Hydrocolloids*, 51, 146-155.
- Çaglak, E. (2018). Production of Surimi from Whiting (*Merlangius Merlangus L.* 1758) and Effect of Starch on Surimi Quality during Frozen Storage. *Nutrition and food science international journal*, 5(5), 1-6.
- Carpenter, K. E., Krupp, F., Jones, D. A., & Zajonz, U. (1997). The living marine resources of the Kuwait, Eastern Saudi Arabia, Bahrain, Qatar and the United Arab Emirates. FAO species identification field guide for fishery purposes, Rome, p. 293.
- Chaijan, M., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Faustman, C. (2004). Characteristics and gel properties of muscles from sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) caught in Thailand. *Food Research International*, 37, 1021-1030.
- Chen, J., Deng, T., Wang, C., Mi, H., Yi, S., Li, X., & Li, J. (2020). The effect of hydrocolloids on gel properties and protein secondary structure of silver carp surimi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(5), 2252-2260.
- Chin, K. B., Keeton, J. T., Longnecker, M. T., & Lamkey, J. W. (1998). Functional, textural and microstructural properties of low-fat bologna (model system) with a konjac blend. *Journal of Food Science*, 63(5), 801 – 807.
- Ding, Y., Liu, Y., Yang, H., Liu, R., Rong, J., & Zhao, S. (2011). Effects of CaCl₂ on chemical interactions and gel properties of surimi gels from two species of carps. *European Food Research and Technology*, 233(4), 569-576.
- Eom, S.-H., Kim, J.-A., Son, B.-Y., You, D. H., Han, J. M., Oh, J.-H., Kim, B.-Y., & Kong, C.-S. (2013). Effects of carrageenan on the gelatinization of salt-based surimi gels. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 16(3), 143-147.
- FAO, (2012). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, p.
- Fogaca, F. H. S., Trinca, L. A., Bombo, A. J., & Sant'Ana, L. S. (2013). Optimization of the surimi production from mechanically recovered fish meat (MRFM) using response surface methodology. *Journal of Food Quality*, 36, 209-216.
- Hai-hua, C., & Chang-hu, X. (2009). Effects of Various Hydrocolloids on Gel Properties of *Trachinocephalus myops* Surimi. *Food Science*, 30(5), 40-45.
- Hajidoun, H. A., & Jafarpour, A. (2013). The Influence of Chitosan on Textural Properties of Common Carp (*Cyprinus Carpio*) Surimi. *Journal of Food Processing Technology*, 4, 1-5.
- Hamzah, N., Sarbon, N. M., & Amin, A. M. (2015). Physical properties of cobia (*Rachycentron canadum*) surimi: effect of washing cycle at different salt concentrations. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8):4773-4784.
- Hedayati, S., & Koochaki, A. (2013). Evaluation the effect of hydrocolloids on the texture and stability of surimi. 21st National Congress of Food Science and Technology, Shiraz, Iran.
- Heydari, S., Shabanpour, B., & Pourashouri, P. (2017). Investigate the properties of surimi paste and gel fortified with dietary fiber. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 14(68), 193-202.
- Hosseini Shekarabi, S. P., Hosseini, S. E., Soltani, M., & Zojaji, M. (2014). Effects of various hydrocolloids on textural and microstructural properties of black mouth croaker (*Atrubucca nibe*) surimi gel. *Journal of Food Research (University of Tabriz)*, 24(3), 425- 437 [In Persian].
- Hosseini-Shekarabi, S. P., Hosseini, S. E., Soltani, M., Kamali, A., & Valinassa, A. (2014). A Comparative Study on Physicochemical and Sensory Characteristics of Minced Fish and Surimi from Black Mouth Croaker (*Atrubucca nibe*). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1289-1300.

- Hsu, C.-K., & Chiang, B.-H. (2002). Effects of water, oil, starch, calcium carbonate and titanium dioxide on the colour and texture of threadfin and hairtail surimi gels. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(4), 387–393.
- Ingadottir, B. & Kristinsson, H.G. (2010). Gelation of protein isolates extracted from tilapia light muscle by pH shift processing. *Food Chemistry*, 118: 780-798.
- Jafarpour, A. (2012). Surimi and Physical Characteristics of Its Gel Network. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 272 p.
- Jafarpour, A., & Gorczyca, E. M. (2009). Rheological Characteristics and Microstructure of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Surimi and Kamaboko Gel. *Food Biophysics*, 4, 172-179.
- Jiménez-Colmenero, F., Cofrades, S., López-López, I., Ruiz-Capillas, C., Pintado, T., & Solas, M. T. (2010). Technological and sensory characteristics of reduced/low-fat, low-salt frankfurters as affected by the addition of konjac and seaweed. *Meat Science*, 84(3), 356–363.
- Jin, S. K., Kim, I. S., Kim, S. J., Jeong, K. J., Choi, Y. J., & Hur, S. J. (2007). Effect of muscle type and washing times on physico-chemical characteristics and qualities of surimi. *Journal of Food Engineering*, 81, 618–623.
- Jung, Y. H., & Yoo, B. (2005). Thermal gelation characteristics of composite surimi sol as affected by rice starch. *Food Science and Biotechnology*, 14, 871-874.
- Khosronejad, N., & Baghaie, H. (2014). Investigating the effect of adding hydrochloroids on the qualitative characteristics of vegetable burgers during shelf life. MS Thesis. Damghan Islamic Azad University.
- Kumar, P., & Mishra, H. N. (2004). Effect of stabilizer addition on physicochemical, sensory and textural properties. *Food chemistry*, 87, 501-207.
- Lanier, T. C., Carvajal, P., & Yongsawatdigul, J. (2005). Surimi Gelation Chemistry. In: Park, J.W. (Eds.), *Surimi and Surimi Seafood*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, pp. 435-489.
- Li, J. M., & Nie, S. P. (2015). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, 1-16.
- Liu, J., Wang, X., & Ding, Y. (2013). Optimization of Adding Konjac Glucomannan to Improve Gel Properties of Low-quality Surimi. *Carbohydrate Polymers*, 92 (1), 484–489.
- Milani, J., & Maleki, G. (2012). Hydrocolloids in Food Industry. In Valdez, B. (Ed). *Food Industrial Process Methods and Equipment*, p. 2–38. China: Intech. Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/food-industrial-processes-methods-and-equipment/hydrocolloids-in-food-industry> on 12/11/2015
- Montero, P., & Pérez-Mateos, M. (2002). Effects of Na⁺, K⁺ and Ca²⁺ on gels formed from fish mince containing a carrageenan or alginate. *Food Hydrocolloids*, 16, 375-385.
- Montero, P., Hurtado, J. L., & Pérez-Mateos, M. (2000). Microstructural behaviour and gelling characteristics of myosystem protein gels interacting with hydrocolloids. *Food Hydrocolloid*, 14(5), 455-461.
- Muthia, D., Nurul, H., & Noryati, I. (2010). The effects of tapioca, wheat, sago and potato on the physicochemical and sensory properties of duck sausage. *International Food Research Journal*, 17, 877-884.
- Osburn, W. N., & Keeton, J. T. (2004). Evaluation of low-fat sausage containing desinewed lamb and konjac gel. *Journal of Meat Science*, (68), 221-233.
- Park, J. W. (2014). *Surimi and surimi seafood*. Taylor & Francis Group, New York, NY. 629 p.
- Petcharat, T., & Benjakul, S. (2017). Effect of gellan incorporation on gel properties of bigeye snapper surimi. *Food Hydrocolloid*, 77, 746-753.
- Phu, N., Morioka, K., & Itoh, Y. (2010). Microstructure of white croaker surimi protein gels set at low temperature under the inhibition of the polymerization and degradation of protein. *International Journal of Biological Sciences*, 52, 1727-3048.
- Rahmawati, R., Rostini, I., Mulyani, Y., & Liviawaty, E. (2018). The ratio of tuna white meat surimi and red meat surimi in the making of fish burger based on the preference level. *World Scientific News*, 114, 68-83.
- Ramirez, J. A., Uresti, R. M., Velazquez, G., & Vázquez, M. (2011). Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. *Food Hydrocolloids*, 25, 1842-1852.
- Razavi – Shirazi, H. (2007). *Seafood technology Principles of storage and processing*. Naghsh Mehr, Tehran, Fourth Edition, 292 p.
- Rohani, A. C., Indon, A., & Yunus, J. M. (1995). Processing of surimi from freshwater fish – Tilapia. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 23(2), 183–190.
- Sánchez-Alonso, I., Haji-Maleki, R., & Borderias, A. J. (2007). Wheat fiber as a functional ingredient in restructured fish products. *Food Chemistry*, 100, 1037– 1043.
- Sadeghi, N. (2001). *Biological and morphological features of fish in southern Iran*. Naghsh Mehr, Tehran, First Edition, 450 p.
- Santana, P., Huda, N., & Yang, T. A. (2013). The Addition of Hydrocolloids (Carboxymethylcellulose, Alginate and Konjac) to Improve the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Fish Sausage Formulated with Surimi Powder. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, 561-569.

- Sarker, M. Z. I., Elgadir, M. A., Ferdosh, S., Akanda, M. J. H., Manap, M. Y. A., & Noda, T. (2012). Effect of some biopolymers on the rheological behavior of surimi gel. *Molecules*, 17, 5733–5744.
- Savadkoobi, S., Hoogenkamp, H., Shamsi, K., & Farahnaky, A. (2014). Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace. *Journal of Meat Science*, 97, 410–418.
- Smith D.M., (1991). Factors influencing heat induced gelation of muscle proteins. In: (N. Paris & R. Bradford eds.) *Interactions of food proteins*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Takigami, S., Takiguchi, T., & Phillips, G. O. (1997). Microscopical studies of the tissue structure of konjac tubers. *Food Hydrocolloids*, 11, 479-484.
- Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., & Elias, L. G. (1989). *Basic Sensory Methods for Food Evaluation*. The Centre, University of Minnesota, 1 -160.
- Xiong, G., Cheng, W., Ye, L., Du, X., Zhou, M., Lin, R., Geng, S., Chen, M., Corke, H., & Cai, Y.Z. (2009). Effects of konjac glucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Food Chemistry*, 116, 413–418.
- Yam, K. L., & Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of food Engineering*, 61, 137-142.
- Yang, D., Yuan, Y., Wang, L., Wang, X., Mu, R., Pang, J., Xiao, J., & Zheng, Y. (2017). A review on konjac glucomannan gels: microstructure and application. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), 2250.
- Yongsawatdigul, J., & Piyadhamviboon, P. (2005). Effect of microbial transglutaminase on autolysis and gelation of lizardfish surimi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1453-1460.
- Zhang, F., Fang, L., Wang, C., Shi, L., Chang, T., Yang, H., and Cui, M. (2013). Effects of starches on the textural, rheological, and color properties of surimi-beef gels with microbial transglutaminase. *Meat Science*, 93, 533-537.
- Zhang, L., Xue, Y., Xu, J., Li, Z., & Xue, C. (2015). Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska Pollock surimi gels subjected to high-temperature (120 °C) treatment. *Food Hydrocolloids*, 43, 125-131.
- Zhou, X., Jiang, S., Zhao, D., Zhang, J., Gu, S., & Pan, Z. (2017). Changes in physicochemical properties and protein structure of surimi enhanced with camellia tea oil. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 562-571.



Study on the effect of Konjac hydrocolloid on physicochemical and textural properties of surimi produced from Talang Queenfish (*Scomberoides commersonnianus*) and Lizardfish (*Saurida tumbil*)

D. Jafarpour^{1*}, P. Ataei²

Received: 2020.06.27

Accepted: 2020.09.22

Introduction: Every year during marine fishing, some species that are caught are not suitable for human consumption and they are known as surplus fishing or low consumption, which is an important factor in wasting these rich resources. Therefore, it is necessary to set arrangements to use such species for human consumption, including the production of surimi. The surimi industry mainly uses Alaska pollock fish as the main source for surimi production. However, due to the increase in the world's population and partly the depletion of the fish stocks, followed by a reduction in the surimi production of Allaska Pollock fish (due to restrictive fishing laws), the need to use new species is considered urgent. In this regard, additives such as gums can be used to reform and improve the properties of surimi. Therefore, in this study, the possibility of producing surimi paste and gel from Lizardfish and Talang Queenfish was investigated and the effect of Konjac on the physicochemical properties of the product produced from these two types of fish was evaluated.

Materials and methods: In this study, Talang Queenfish and Lizardfish with approximate weight of 225.9 ± 33.6 and 275.9 ± 24.4 g and average size of 15.1 ± 2.4 and 17.3 ± 2.6 cm, respectively, were purchased freshly from the fish market. After preparing surimi paste from both types of fish, Konjac gum in concentrations of 0.25, 0.50 and 0.75 % (w/w) was added directly to the surimi paste. Then to prepare surimi gel, first, the samples were placed in a water bath at 25°C for 3 hours for setting and then cooked at 90°C for 20 minutes. After that, the prepared gels were cooled in iced water immediately. The produced paste and gel were evaluated in terms of chemical composition, water holding capacity and color factors. Texture and sensory characteristic were assessed on the produced gels of both types of fish and compared with the control sample (without gum).

Results and discussion: According to the results, the yield of Lizardfish was 28% and Talang Queenfish was 22%. It seems that the larger size of Lizardfish has been effective in its higher yield than Talang Queenfish. Based on the results, the percentage of ash, protein and fat in the treatments did not change significantly compared to the control sample. Also, there was no significant difference between the two types of fish in the amount of mentioned factors ($p > 0.05$). As the contraction level of Konjac gum increased, the amount of moisture and water holding capacity of the paste samples of both fish increased significantly, which is due to the absorption and binding of water by the Konjac hydrocolloid. The lightness level (L^*) of the surimi paste and gel of both types of fish increased significantly with the addition of Konjac, which is related to the increase in water content in the samples. The lightness of the surimi paste and gel of Lizardfish was higher than that of Talang Queenfish, which is due to the presence of more pigments in the Talang Queenfish meat. Control Sample and treatment of 0.25% of Talang Queenfish surimi paste showed more yellowness and redness than Lizardfish, but in the resulting gel, their values were reduced, indicating that the formation of gel structure by Konjac gum and binding to the proteins covered the yellowness and redness of the samples. By increasing the concentration of Konjac in surimi gel of both fish the parameters of texture (firmness, cohesiveness, adhesiveness, springiness, chewiness) breaking force and deformation increased significantly compared to the control sample. Also, the results showed that the surimi gel from Lizardfish has higher firmness, cohesiveness and strength than Talang Queenfish. Sensory evaluations showed that the panelists assigned the highest score for the surimi gel from Lizardfish to the 0.5% treatment and for the Talang Queenfish to the 0.75% treatment of Konjac. Based on the findings of the present study, it was found that surimi gel from Talang Queenfish has a lower quality than Lizardfish, but with the addition of Konjac gum, its properties can be improved.

Keywords: Surimi, Konjac hydrocolloid, Color, Texture, Sensory evaluation

1 and 2. Assistant professor and Former MSc Student, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Islamic Azad University of Fasa Branch, Fars, Iran.

(*Corresponding Author Email: d.jafarpour84@yahoo.com)

مقاله پژوهشی

بررسی خواص ضد میکروبی و قابلیت زنده‌مانی *Lactobacillus plantarum* LZ95 در

شرایط اسیدی و صفراوی

الهه عیسوندحیدری^۱ - حسین جوینده^{۲*} - محمد حجتی^۲ - بهروز علیزاده بهبهانی^۳ - محمد نوشاد^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲

چکیده

پروبیوتیک‌ها، مکمل‌های غذایی و میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که در صورت مصرف، اثرات مفیدی بر سلامتی میزبان ایجاد می‌کنند. از جمله اثرات سلامت‌بخش آن‌ها می‌توان به متعادل کردن میکروفلور روده، پیشگیری از سرطان و اسهال، کاهش کلسترول و فشارخون، اصلاح عدم تحمل لاکتوز، بهبود سیستم ایمنی، کاهش نشانه‌های آلرژیک، مهار میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و غیره اشاره نمود. هدف از این پژوهش، بررسی قابلیت زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* LZ95 نسبت به اسید (pH ۲/۵، ۳/۵ و ۵)، توانایی رشد آن در غلظت‌های مختلف نمک‌های صفراوی (۰/۲، ۰/۵، ۰/۸، ۱/۲ و ۳ درصد)، مقاومت آن نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های کلرامفنیکل، تتراسایکلین، پنی‌سیلین و جنتامایسین و بررسی فعالیت ضد میکروبی آن در برابر لیستریا اینوکوا، استافیلوکوکوس اورئوس، سودوموناس آئروژینوزا و اشرشیا کلی به روش لکه‌گذاری بود. نتایج نشان داد که باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در pH ۳/۵ و ۵ به ترتیب ۸۵/۳۵ و ۹۷/۶۹ درصد قابلیت زنده‌مانی داشت. نتایج نشان داد که باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در تمامی غلظت‌های نمک صفراوی مورد آزمایش (۰/۲، ۰/۵، ۰/۸، ۱/۲ و ۳ درصد) قادر به رشد بود. *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی حساس بود. هاله عدم رشد میکروبی در برابر باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشرشیا کلی*، *سودوموناس آئروژینوزا* و *لیستریا اینوکوا* به ترتیب ۱۱/۳۰، ۷، ۱۰/۷۰ و ۸/۹۰ میلی‌متر بود. با توجه به قابلیت زنده‌مانی مناسب سویه *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در شرایط اسیدی و صفراوی و همچنین فعالیت ضد میکروبی آن علیه باکتری‌های بیماری‌زای غذا، پیشنهاد می‌شود بعد از انجام تست‌های تاییدی بیشتر از این سویه به عنوان مکمل پروبیوتیکی در کشت‌های تخمیری و یا به عنوان کشت همراه در فرایند تولید محصولات غذایی تخمیری استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، نمک‌های صفراوی، مقاومت به آنتی‌بیوتیک، روش لکه‌گذاری.

مقدمه

غذایی و مهار میکروارگانیسم‌های عامل فساد یا عوامل بیماری‌زای ناشی از مواد غذایی دارند (Angmo et al., 2016). استفاده از باکتری‌های خانواده اسید لاکتیک با قابلیت پروبیوتیکی همانند *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* می‌تواند تعداد میکروب‌های مفید در محصولات غذایی را بالا برده و از سویی دیگر به عنوان باکتری‌های سازگار، فلور میکروبی روده را نیز تغییر دهند (دلال و همکاران، ۱۳۹۴). در جنس *لاکتوباسیلوس*‌ها، *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، از گروه هتروفرمنتاتیو و به عنوان یک گونه ناهمگون و تطبیق پذیر است که در انواع محصولات از جمله لبنیات، گوشت، ماهی و بسیاری از سبزی‌ها و گیاهان تخمیری یافت می‌شود. توانایی زنده ماندن گونه‌های *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در معده و روده انسان و سایر پستانداران به

پروبیوتیک‌ها توسط سازمان خواربار و کشاورزی و سازمان بهداشت جهانی به عنوان "میکروارگانیسم‌های زنده" تعریف شده‌اند که اگر به میزان کافی در بدن میزبان وجود داشته باشند، می‌توانند اثرات سلامت بخشی را ایجاد کنند (Brown et al., 2004). باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB)^۴ متداول‌ترین پروبیوتیک‌ها در چند دهه گذشته می‌باشند. آن‌ها میکروفلور مطلوب دستگاه گوارش هستند و بنابراین "به طور کلی ایمن" (GRAS^۵)، تلقی می‌شوند؛ همچنین به دلیل شرکت در فرآیند تخمیر، میکروفلور غالب محصولات تخمیری به شمار می‌آیند. پروبیوتیک‌ها از طریق تولید اسید لاکتیک، اسید استیک، H₂O₂، باکتریوسین، دی‌استیل و CO₂ نقش مهمی در حفاظت از مواد

آزمون مقاومت به اسید

آزمون مقاومت به اسید مطابق با روش نریمانی و همکاران (۱۳۹۳)، با اندکی تغییر انجام گردید. ابتدا سویه لاکتوباسیلوس پلانٹاروم به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد رشد داده شد. باکتری‌های فعال شده در محیط کشت MRS^2 مایع توسط سانتریفیوژ یخچال دار مدل (Hermle) ساخت کشور آلمان با دور ۹۰۰۰ g به مدت ۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. رسوب ایجاد شده دوبار توسط محلول نمک فسفات با خاصیت بافری (PBS) از شرکت Bioidea شست و شو داده شد و در نهایت مایع رویی (سوپرناتانت) دور ریخته شد. سوپانسیون میکروبی توسط دستگاه اسپکتوفوتومتر (Wpa، انگلستان) در طول موج ۶۲۰ نانومتر به جذب نوری ۰/۶ رسید. ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی به درون میکروتیوب حاوی ۴۵۰ میکرولیتر بافر فسفات ریخته شد که به عنوان نمونه کنترل در نظر گرفته شد. نمونه کنترل به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در شرایط بی‌هوازی انکوبه‌گذاری شد. از HCl ۰/۱ نرمال توسط بافر فسفات اسیدهایی با pHهای ۲/۵، ۳/۵ و ۵ تهیه شد. در میکروتیوب‌های حاوی ۴۵۰ میکرولیتر بافر فسفات استریل با pHهای موردنظر میزان ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی ریخته شد و همراه با نمونه کنترل انکوبه‌گذاری شد. پس از گذشت ۳ ساعت، برای نمونه کنترل تا 10^{-1} رقت سازی انجام شد. برای نمونه با $pH=2/5$ تا رقت 10^{-5} ، نمونه‌ی $pH=3/5$ تا رقت 10^{-7} و برای نمونه با $pH=5$ تا رقت 10^{-10} رقیق سازی صورت گرفت. در انتها از رقت‌های موردنظر به میزان ۱۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون در پلیت‌های حاوی MRS agar کشت خطی داده شد و بعد از ۲۴ ساعت در جار بی‌هوازی و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه‌گذاری شد. تعداد باکتری لاکتوباسیلوس پلانٹاروم ر شد یافته توسط کلنی کانتر شمارش شد. درجه زنده‌مانی سویه لاکتوباسیلوس از طریق مقایسه درصد کلنی‌های رشد کرده روی MRS agar با نمونه کنترل محاسبه گردید

آزمون مقاومت به نمک‌های صفراوی

آزمون مقاومت به نمک‌های صفراوی مطابق با روش طباطبایی یزدی و همکاران (۱۳۹۶)، با کمی اصلاح انجام شد. ابتدا سویه مورد نظر در محیط MRS مایع به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در شرایط بی‌هوازی فعال‌سازی شد. باکتری فعال شده توسط سانتریفیوژ یخچال دار با دور ۹۰۰۰ g به مدت ۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. رسوب ایجاد شده دوبار توسط بافر فسفات استریل شست و شو داده شد و در نهایت مایع رویی دور ریخته شد. سوسپانسیون میکروبی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج

اثبات رسیده است. از ویژگی‌های درمانی این گونه می‌توان به کاهش شیوع اسهال در مراکز مراقبت روزانه، کاهش درد و یبوست همراه با سندرم روده تحریک‌پذیر، کاهش نفخ، توانایی جابه‌جایی انتروپاتوژن‌ها از سلول‌های $Caco_2$ و تأثیر مثبت بر ایمنی کودکان مبتلا به HIV^۱ اشاره نمود (Zago et al., 2011). باکتری‌های اسیدلاکتیک گروه وسیعی از باکتری‌های هستند که در فرآیند تخمیر مواد غذایی سنتی و صنعتی بسیار مؤثرند (طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۹۵ a). مکانیسم عمل پروبیوتیک به سه طریق انجام می‌شود. اولین مکانیسم تقویت سیستم دفاعی میزبان است که مهم‌ترین عامل در پیشگیری و درمان بیماری‌های عفونی و نیز درمان التهاب‌های روده‌ای به شمار می‌رود. این باکتری‌ها با تولید متابولیت‌های خاص، ترکیبات دیواره سلولی یا DNA سیستم ایمنی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Collado et al., 2009). دومین مکانیسم مربوط به تأثیر مستقیم بر پاتوژن‌ها و سایر میکروارگانیسم‌های مضر است (Kaur et al., 2002). پروبیوتیک‌ها مانع از چسبیدن پاتوژن‌ها به روده می‌شوند و در نهایت برخی از تولیدات میکروبی مانند توکسین‌ها و فراورده‌های تولیدی میزبان، مثل نمک‌های صفراوی و ترکیبات غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Patel et al., 2010). ذکر این نکته در خور توجه است که مکانیسم عمل پروبیوتیک کاملاً به گونه باکتری وابسته است و تا به امروز گروه‌های عمل پروبیوتیک‌ها به‌طور کامل شناخته نشده‌اند (Burgain et al., 2011). آش‌کارده به‌عنوان یک غذای تخمیری در منطقه جنوب غرب زاگرس شناخته شده است که با استفاده از گیاه محلی کاردین، آرد گندم، دوغ و برنج تهیه می‌شود. باکتری‌های خانواده اسیدلاکتیک عمده‌ترین میکروارگانیسم‌های آغازگر تخمیر خودبه‌خودی این محصول می‌باشند (طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۹۵ b). بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی قابلیت زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانٹاروم LZ95 (جدا شده از آش‌کارده) در شرایط اسیدی و صفراوی، مقاومت آن نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی و همچنین بررسی فعالیت ضد میکروبی آن در برابر برخی سویه‌های عامل عفونت و مسمومیت غذایی در شرایط آزمایشگاهی بود.

مواد و روش‌ها

تهیه سویه میکروبی

در این پژوهش، از سویه میکروبی لاکتوباسیلوس پلانٹاروم که توسط روش‌های مبتنی بر کشت و مولکولی قبلاً در پژوهش طباطبایی یزدی و همکاران (۱۳۹۵ b) از غذای تخمیری آش‌کارده جداسازی، شناسایی و تعیین توالی شده بود استفاده شد (طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۹۵ b).

احتمال ۵ درصد، با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به درصد زندهمانی سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم در pH ۲/۵، ۳/۵ و ۵ به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد در جدول ۱، آورده شده است. نتایج نشان داد که درصد زندهمانی سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم از صفر تا ۹۷/۶۹ درصد متغیر بود. بیشترین زندهمانی سویه در pH= ۵ و کمترین درصد زندهمانی در pH= ۲/۵ مشاهده شد. نتایج نشان داد لاکتوباسیلوس پلانتاروم از توانایی خوبی در برابر شرایط اسیدی برخوردار بود. شکل ۱، نمایی از رشد سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم در pH برابر با ۳/۵ را نشان می دهد.

جدول ۱- اثر pHهای مختلف (۲/۵، ۳/۵ و ۵) بر درصد زندهمانی

pH/بکتری	سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم	
	۲/۵	۳/۵
لاکتوباسیلوس پلانتاروم	-	۰/۵۰ ± ۸۵/۳۵ %
	۵	۰/۲۴ ± ۹۷/۶۹ %



شکل ۱- نمایی از رشد سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم در شرایط اسیدی.

نتایج مربوط به رشد سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم در محیط کشت MRS آگار حاوی غلظت های مختلف (۰/۲، ۰/۵، ۰/۸، ۱/۲ و ۳ درصد)

۶۲۰ نانومتر به جذب نوری ۰/۶ رسید و در محیط MRS agar حاوی ۰/۲، ۰/۵، ۰/۸، ۱/۲ و ۳ درصد نمک صغراوی به میزان ۱۰۰ میکرولیتر تلقیح شد. نتایج بعد از ۲۴ ساعت گرمخانه گذاری در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد و در شرایط بی هوازی به صورت چشمی مشاهده شد.

بررسی حساسیت به آنتی بیوتیک های مختلف

در این آزمون مطابق با روش جعفری و همکاران (۱۳۹۱)، تست حساسیت لاکتوباسیلوس پلانتاروم نسبت به آنتی بیوتیک های رایج درمانی انجام شد. آنتی بیوتیک های مورد استفاده شامل: کلرامفنیکل^۱ (۳۰ µg)، تتراسایکلین^۲ (۳۰ µg)، پنی سیلین^۳ (۱۰ µg)، و جنتامایسین^۴ (۱۰ µg)، و روش بررسی، انتشار دیسک^۵ بود. در نهایت، تشکیل هاله شفاف اطراف دیسک ها نشان دهنده عدم رشد سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم بود و به وسیله خط کش (بر حسب میلی متر) اندازه گیری شد

آزمون ضد باکتریایی به روش لکه گذاری

آزمون ضد میکروبی لکه گذاری^۶ به منظور تأیید فعالیت پروبیوتیکی سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم به روش طباطبایی یزدی و همکاران (۱۳۹۴)، انجام شد. ابتدا لاکتوباسیلوس پلانتاروم در محیط MRS مایع به مدت ۲۴ ساعت در جار بی هوازی در ۳۷ درجه سانتی گراد گرمخانه گذاری و فعال سازی شد. سپس حدود ۵ میکرولیتر از سویه روی سطح محیط کشت BHI^۷ Agar نقطه گذاری و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد گرمخانه گذاری شد. سپس سطح سویه توسط یک لایه آگار نرم که شامل ۱۰ میلی لیتر از آگار BHI+۷% بود و با سویه های شاخص بیماری زای غذازاد (لیستریا/اینوکوا^۸، استافیلوکوکوس اورئوس^۹، اشرشیا کلی^{۱۰}، سودوموناس آنروژینوزا^{۱۱}) که از قبل فعال سازی شد، تلقیح و پوشانده شد. نحوه فعال سازی سویه های شاخص به این صورت بود که باکتری های بیماری زای غذازاد به مدت ۲۴ ساعت در شرایط هوازی گرمخانه گذاری شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت هاله شفاف در اطراف نقاط تلقیح شده با لاکتوباسیلوس پلانتاروم مشاهده شد که نشان دهنده عدم رشد میکروارگانیسم های شاخص و فعالیت ضد باکتریایی سویه مورد نظر بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

بررسی نتایج این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. میانگین داده ها با استفاده از آزمون دانکن و سطح

- 7 Brain Heart Infusion agar
- 8 Listeria innocua
- 9 Staphylococcus aureus
- 10 Escherichia coli
- 11 Pseudomonas aeruginosa

- 1 Chloramphenicol
- 2 Tetracycline
- 3 Penicillin
- 4 Gentamicin
- 5 Disk diffusion
- 6 Spot On Lawn

آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی بر رشد سویه *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* نشان داده شده است.

نتایج فعالیت ضد میکروبی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر باکتری‌های شاخص بیماری‌زای غذازاد در جدول ۴، آورده شده است. هاله عدم رشد میکروبی در اطراف سویه *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* نشان‌دهنده عدم رشد میکروارگانیسم‌های شاخص مورد استفاده در این آزمون بود. بر اساس نتایج، هاله عدم رشد میکروبی در برابر *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشرشیا کلی*، *سودوموناس ائروژینوزا* و *لیستریا اینوکوا* به ترتیب ۱۱/۳۰، ۷، ۱۰/۷۰ و ۸/۹۰ میلی‌متر بود. بیشترین و کمترین فعالیت بازدارندگی به ترتیب بر باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* (گرم مثبت) و *اشرشیا کلی* (گرم منفی) مشاهده شد.

نمک صفراوی در جدول ۲، آورده شده است. نتایج نشان داد که سویه *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در تمامی غلظت‌های نمک صفراوی دارای رشد بود اما بیشترین و کمترین رشد باکتری به ترتیب در غلظت ۰/۲ و ۳ درصد نمک صفراوی مشاهده شد.

نتایج قطر هاله عدم رشد سویه *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در برابر آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی (جنتامایسین ۱۰ µg، تتراسایکلین ۳۰ µg، پنی‌سیلین ۱۰ µg و کلرامفنیکل ۳۰ µg)، به روش انتشار دیسک در جدول ۳، آورده شده است. نتایج نشان داد که آنتی‌بیوتیک کلرامفنیکل با قطر هاله عدم رشد ۳۰/۱۰ میلی‌متر بیشترین اثر بازدارندگی را بر باکتری داشت. در شکل ۲، نمایی از اثر

جدول ۲- اثر غلظت‌های مختلف نمک صفراوی بر زنده ماندن سویه *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*

باکتری / درصد نمک صفراوی	۰/۲	۰/۵	۰/۸	۱/۲	۳
<i>لاکتوباسیلوس پلانتاروم</i>	+++++	++++	+++	++	+

• +++++: بسیار زیاد، +++++: زیاد، +++: نسبتاً زیاد، ++: متوسط، +: کم

جدول ۳- اثر آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی بر رشد *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (بر حسب میلی‌متر)

باکتری / آنتی‌بیوتیک	کلرامفنیکل	جنتامایسین	تتراسایکلین	پنی‌سیلین
<i>لاکتوباسیلوس پلانتاروم</i>	۳۰/۱۰±۰/۲۸ ^a	۱۵/۰۰±۰/۵۰ ^c	۲۵/۳۰±۰/۷۳ ^b	۲۵/۵۰±۰/۶۰ ^c

نتایج حاصل از میانگین سه تکرار (آزمون آماری دانکن) در سطح معنی‌داری (p≤۰/۰۵) است و داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار آورده شده است.

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.



شکل ۲- نمایی از اثر آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی بر باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*.

جدول ۴- قطر هاله بازدارندگی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر باکتری‌های بیماری‌زای غذازاد بر حسب میلی‌متر

باکتری	<i>لیستریا اینوکوا</i>	<i>استافیلوکوکوس اورئوس</i>	<i>سودوموناس ائروژینوزا</i>	<i>اشرشیا کلی</i>
<i>لاکتوباسیلوس پلانتاروم</i>	۸/۹۰±۰/۴۲ ^b	۱۱/۳۰±۰/۳۲ ^a	۱۰/۷۰±۰/۶۶ ^a	۷/۰۰±۰/۳۹ ^c

نتایج حاصل از میانگین سه تکرار (آزمون آماری دانکن) در سطح معنی‌داری (p≤۰/۰۵) است و داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار آورده شده است. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

مقاومت جدایه‌های لاکتوباسیلوس را در غلظت‌های ۰/۳، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد نمک صفراوی بررسی کردند. این پژوهشگران گزارش کردند لاکتوباسیلوس پلانتاروم (MT.ZH293) و لاکتوباسیلوس فرمتوم (MT.ZH993 و MT.ZH893)، نسبت به غلظت‌های متفاوت نمک صفراوی مقاوم بودند. باکتری پروبیوتیک مقاومت خود را در برابر نمک صفراوی از طریق خنثی کردن اثرات نمک صفراوی و کاهش سطح کلسترول خون در بیماران با کلسترول بالا که نتیجه تولید آنزیم‌های آبکافت کننده نمک صفراوی توسط باکتری پروبیوتیک است، به دست می‌آورد. نتایج این پژوهش‌ها با یافته‌های ما هم‌خوانی داشت. بنابراین بر اساس پژوهش‌های انجام شده، نرخ بقای متفاوتی برای سویه‌های لاکتوباسیلوس پلانتاروم ذکر شده است که نشان می‌دهد توانایی بقا در محیط‌های صفراوی، وابسته به نژاد و گونه است (Tokatli et al., 2015). نتایج مربوط به اثر آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی بر باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم به این صورت گزارش شد: مقاوم به آنتی‌بیوتیک (قطر کمتر یا مساوی ۱۴)، حساسیت نسبی (قطر ۱۵ تا ۱۹) و حساس (قطر بیش از ۲۰ میلی‌متر). مطابق با نتایج به دست آمده (جدول ۳) باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم از حساسیت نسبی در برابر جنتامایسین برخوردار بوده و نسبت به کلرامفنیکل، تتراسایکلین و پنی‌سیلین حساس بود. Sharma و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند لاکتوباسیلوس پلانتاروم نسبت به این آنتی‌بیوتیک‌ها مقاوم است (Sharma et al., 2016). صادقی و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که لاکتوباسیلوس پلانتاروم جداسازی از خمیرترش آرد کامل گندم نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی حساس بود. Rajoka و همکاران (۲۰۱۷) طی پژوهشی باکتری‌های اسید لاکتیک را از شیر مادر جداسازی و شناسایی کرده و ویژگی‌های پروبیوتیکی آن را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که ۷ سویه لاکتوباسیلوس رامنوسوس از شیرمادر جدا و شناسایی شدند. پتانسیل پروبیوتیکی آن‌ها از جمله آزمون حساسیت آنتی‌بیوتیکی نیز بررسی شد. اکثر جدایه‌ها به پنی‌سیلین، جنتامایسین، آمپی‌سیلین، استرپتومایسین، سیپروفلوکساسین و سفالوتوکسین مقاوم و دو سویه نیز نسبت به تتراسایکلین و اریترومایسین حساس بودند. نتایج نشان داد شیر مادر منبع بالقوه پروبیوتیک است. مقاومت در برابر آنتی‌بیوتیک خاص ممکن است به دلیل عدم وجود محل هدف آنتی‌بیوتیک خاص در سلول باکتری باشد (Abushelaibi et al., 2017). Yu و همکاران (۲۰۱۳) از کلم ترش چینی، لاکتوباسیلوس پلانتاروم را جداسازی کردند و به بررسی ویژگی‌های پروبیوتیکی آن پرداختند. آن‌ها در آزمون حساسیت به آنتی‌بیوتیک دریافتند، باکتری به پنی‌سیلین حساس و نسبت به جنتامایسین مقاوم است. مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌ها به طور فزاینده تبدیل به یک نگرانی مهم در زمینه پزشکی شده است. مقاومت گسترده

اسید معده از اهمیت بسیار زیادی در جلوگیری از کلونیزاسیون میکروبی نامطلوب برخوردار است و نقش مهمی در کاهش میزان بقای میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا دارد. لاکتوباسیلوس‌های پروبیوتیکی که به میزان زیادی در معرض اسید معده قرار می‌گیرند از پاسخ‌ها و مکانیسم‌های مختلف سلولی برای تحمل شرایط نامناسب اسیدی معده، مانند پمپ‌های پروتون، ترمیم پروتئین‌ها برای آسیب DNA، تغییر در پوشش سلولی و متابولیسم تغییر یافته بهره می‌گیرند (Montoro et al., 2018).

نوری و همکاران (۱۳۹۷)، گزارش کردند که هیچ یک از جدایه‌های لاکتیک اسید باکتری‌ها در pH=۲ رشدی نداشتند. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی داشت. در پژوهشی که توکلی و همکاران (۱۳۹۵)، انجام دادند از بین ۳۰۰ سویه لاکتوباسیلوس جدا شده از پنیر محلی مازندران، ۱۹ سویه توانایی بقا در شرایط pH=۲/۵ را دارا بودند. Kumar و همکاران (۲۰۱۵)، ۱۲ ایزوله لاکتوباسیلوس که قبلاً از محصولات لبنی جداسازی شده بود را شناسایی و ویژگی‌های پروبیوتیکی آن‌ها را ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که از بین سویه‌های ایزوله شده، ۵ سویه لاکتوباسیلوس (زنده‌مانی ۵۰ درصد) در pH=۳ توانایی رشد داشتند. در پژوهشی دیگر لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس در pH=۵ زنده ماندند اما در pH=۳ غیرفعال بودند. بنابراین می‌توان بیان داشت که سازگاری سلولی با محیط اسیدی باعث ایجاد تغییر در ترکیب‌های غشایی با افزایش چشمگیر اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع و همچنین تخمیر مالولاکتیک و تجمع هیستیدین داخل سلولی می‌شود (Landa-Salgado et al., 2019). مقایسه نتایج به دست آمده درباره مقاومت به اسید در لاکتوباسیلوس‌های مختلف مشکل است و دلیل این امر می‌تواند مربوط به متنوع بودن سویه‌ها، درجه حساسیت به شرایط اسیدی و همچنین شرایط و مواد مورد استفاده در آزمون‌ها باشد (نوری و همکاران، ۱۳۹۷).

مقاومت در برابر نمک‌های صفراوی یکی از مهم‌ترین معیارها در انتخاب پروبیوتیک‌ها است. روده کوچک و روده بزرگ حاوی غلظت نسبتاً بالایی از نمک‌های صفراوی هستند که برای سلول‌های زنده سمی می‌باشند (Tokatli et al., 2015). هنگامی که باکتری‌ها به روده کوچک برسند، در معرض شرایط ضد میکروبی متعددی مانند آنزیم‌های پروتئولیتیک، پپتیدهای ضد میکروبی و نمک‌های صفراوی قرار می‌گیرند. غلظت ۰/۳ درصد از نمک‌های صفراوی یک غلظت بحرانی است که به طور کلی برای انتخاب سویه‌های مقاوم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Abid et al., 2018). نوری و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند لاکتوباسیلوس پلانتاروم توانایی رشد در محیط کشت حاوی ۰/۳ و ۰/۵٪ نمک صفراوی را دارا می‌باشد. توکلی و همکاران (۱۳۹۵) میزان

مناسبی در برابر *استافیلوکوکوس اورئوس* از خود نشان داد. این پژوهشگران همچنین گزارش کردند که این باکتری در کمک به بهبود زخم، سرکوب عفونت *استافیلوکوکوس اورئوس* در محل زخم و افزایش ایمنی ذاتی میزبان می تواند مؤثر باشد. علیزاده بهبهانی و همکاران (۲۰۱۹) پتانسیل پروبیوتیکی و ضد میکروبی سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم L15 مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران فعالیت ضدباکتری این سویه در برابر باکتری *شرشیا کلی* عامل عفونت ادراری را مورد تأیید قرار دادند.

نتیجه گیری

با توجه به قابلیت زندهمانی مناسب سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم در شرایط اسیدی و صفراوی و همچنین فعالیت ضد میکروبی آن علیه باکتری های بیماری زای غذازاد، پیشنهاد می شود بعد از انجام تست های تاییدی بیشتر از این سویه به عنوان مکمل پروبیوتیکی در کشت های تخمیری و یا به عنوان کشت همراه در فرایند تولید محصولات غذایی تخمیری استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد، لذا نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت های مادی و معنوی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

در برابر آنتی بیوتیک های دارویی مهم در بین باکتری های بیماری زا به یک تهدید جدی برای درمان بیماران تبدیل شده است. بنابراین، حساسیت آنتی بیوتیکی یک نیاز مهم برای پروبیوتیک ها است (Lee et al., 2014).

فعالیت ضد میکروبی پروبیوتیک ها به دلیل تولید ترکیباتی مانند باکتریوسین ها و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و همچنین تولید اسیدهای آلی مانند اسید لاکتیک و اسید استیک می باشد. ترکیبات باکتریوسینی مانع از رشد باکتری های بیماری زای گرم مثبت و اسیدهای چرب هیدروکسی، اسیدهای آلی و هیدروژن پراکسید مانع از رشد باکتری های گرم منفی می شود. عمده ترین اثر ضد میکروبی لاکتوباسیلوس ها تولید باکتریوسین می باشد. هیدروژن پراکسید، اسیدهای آلی و اتانول نیز از جمله موادی هستند که لاکتوباسیل ها با تولید آن ها می توانند اثر کشندگی در برابر باکتری های بیماری زا داشته باشند (فلاح و همکاران، ۱۳۹۸). Hernandez و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که سویه لاکتوباسیلوس پلانتاروم TF711 تولید کننده ترکیبات شبه باکتریوسینی به نام پلانتاریسین^۱ TF711 می باشد. این باکتری فعالیت ضد میکروبی خوبی در برابر طیف وسیعی از باکتری های بیماری زای غذازاد از خود نشان داد. Enan و همکاران (۱۹۹۶) در پژوهشی مشابه، فعالیت ضد میکروبی لاکتوباسیلوس پلانتاروم UGI جدا شده از سوسیس خشک را بررسی کردند و مشاهده کردند این سویه با تولید ماده ضد میکروبی پلانتاریسین UGI توانست اثر مهارکنندگی روی باکتری های بیماری زا داشته باشد. Ong و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که لاکتوباسیلوس پلانتاروم USM 8613 فعالیت ضد میکروبی

منابع

- توکلی، م. حمیدی اصفهانی، ز. حجازی، م. ا. عزیزی، م. ح. عباسی، س. توانایی پروبیوتیکی سویه های لاکتوباسیلوس جدا شده از پنیر محلی مازندران. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۱۳۹۵؛ ۱۱(۴): ۸۹-۹۸.
- جعفری، ب. منادی، ع. رضایی، ع. علیزاده، س. احمدزاده، ج. برزگری، ا. پاشازاده، م. جعفرزاده، ح. مجله دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. ۱۳۹۱؛ ۱۶(۱): ۱۵۰۵-۱۵۲۴.
- سلطان دلال، م. م. خشت زرین، ح. ر. تاج آبادی ابراهیمی، م. داود آبادی، ا. حکیمیان، م. م. صدر آبادی، ع. ا. شریفی یزدی، م. ک. جداسازی و شناسایی بیوشیمیایی باکتری های اسید لاکتیک با پتانسیل پروبیوتیکی در ماست های محلی استان یزد. طلوع بهداشت، دوماهنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد. ۱۳۹۴؛ ۱۱۴(۹۴): ۱۸۵-۱۷۳.
- صادقی، ع. ابراهیمی، م. جداسازی، شناسایی و ارزیابی ویژگی های پروبیوتیکی لاکتوباسیلوس های غالب در خمیر ترش کامل آرد گندم. مجله دنیای میکروب ها. ۱۳۹۵؛ ۹(۲): ۱۴۴-۱۳۳.
- طباطبایی یزدی، ف. وسیعی، ع. علیزاده بهبهانی، ب. بررسی تنوع باکتری های اسید لاکتیک جدا شده از کشک زرد زابلی (سیستانی) با استفاده از روش تکثیر ژن rRNA ۱۶S. علوم و صنایع غذایی. ۱۳۹۵a؛ ۱۳(۵۹): ۳۶-۲۵.
- طباطبایی یزدی، ف. وسیعی، ع. علیزاده بهبهانی، ب. مرتضوی، س. ع. طباطبایی یزدی، ف. بررسی تنوع جمعیتی باکتری های اسید لاکتیک آش کارده با استفاده از روش تکثیر ژن rRNA ۱۶S و تعیین فعالیت ضد میکروبی ترکیبات شبه باکتریوسینی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. ۱۳۹۵b؛ ۱۳(۵۳): ۱-۱۴.

طباطبایی یزدی، ف. وسیعی، ع. علیزاده بهبهانی، ب. مرتضوی، س.ع. بررسی تنوع زیستی باکتری‌های اسید لاکتیک دوغ محلی مشهد با استفاده از روش آنالیز ژن ۱۶S rRNA و تعیین توانایی پروبیوتیکی سویه‌های جدا شده از آن. علوم و صنایع غذایی. ۱۳۹۶؛ ۱۴(۷۰): ۶۷-۷۸.

طباطبایی یزدی، ف. وسیعی، ع. علیزاده بهبهانی، ب. مرتضوی، س.ع. بررسی پتانسیل پروبیوتیکی باکتری‌های اسید لاکتیک جدا شده از کیمچی تولید شده در ایران. ۱۳۹۴ مجله دانشگاه علوم پزشکی قم؛ ۹(۵): ۲۲-۱۱.

فلاح، ف. مرتضوی، س.ع. طباطبایی یزدی، ف. بررسی خواص پروبیوتیکی *لاکتوباسیلوس برویس* سویه PML1 بر پایه توانایی چسبندگی آن به سلول‌های اپیتلیال روده. ۱۳۹۸؛ ۵(۱): ۴۱-۵۳.

نریمانی، ط. تاری‌نژاد، ع. جداسازی و شناسایی بیوشیمیایی و مولکولی باکتری‌های پروبیوتیک از شیر و ماست سنتی گاو میش شهرستان خوی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی. ۱۳۹۳؛ ۳(۳): ۲۲۴-۲۱۰.

نوری، ص. ناظری، س. حسینی، پ. جداسازی و شناسایی بیوشیمیایی و مولکولی باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* از ریزوسفر ریشه برنج لنجان. فصلنامه علمی-پژوهشی زیست‌شناسی میکروارگانیسم‌ها. ۱۳۹۷؛ ۷(۲۷): ۶۱-۷۱.

- Abid Y, Casillo A, Gharsallah H, Joulak I, Lanzetta R, Corsaro MM, et al. Production and structural characterization of exopolysaccharides from newly isolated probiotic lactic acid bacteria. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018; 108:719-28.
- Abushelaibi A, Al-Mahadin S, El-Tarabily K, Shah NP, Ayyash M. Characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from camel milk. *LWT-Food Science and Technology*. 2017; 79:316-25.
- Alizadeh Behbahani B, Noshad M, Falah F. Inhibition of *Escherichia coli* adhesion to human intestinal Caco-2 cells by probiotic candidate *Lactobacillus plantarum* strain L15. *Microbial Pathogenesis*. 2019; 136:103677.
- Angmo K, Kumari A, Bhalla TC. Probiotic characterization of lactic acid bacteria isolated from fermented foods and beverage of Ladakh. *LWT-Food Science and Technology*. 2016; 66:428-35.
- Brown AC, Valiere A. Probiotics and medical nutrition therapy. *Nutrition in clinical care: an official publication of Tufts University*. 2004; 7(2):56.
- Burgain J., Gaiani, C., Linder, M., and Scher, J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial Applications. *Journal of food Engineering*. 2011; 104(4): 467-483.
- Collado, M.C., Isolauri, E., Salminen, S. and Sanaz, Y. The impact of probiotic on gut health. *Current Drug Metabolism*. 2009; 10:68-78.
- Enan G, El-Essawy A, Uyttendaele M, Debevere J. Antibacterial activity of *Lactobacillus plantarum* UG1 isolated from dry sausage: characterization, production and bactericidal action of plantaricin UG1. *International Journal of Food Microbiology*. 1996; 30(3): 189-215.
- Hernandez D, Cardell E, Zarate V. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria isolated from Tenerife cheese: initial characterization of plantaricin TF711, a bacteriocin-like substance produced by *Lactobacillus plantarum* TF711. *Journal of Applied Microbiology*. 2005; 99(1): 77-84.
- Kaur, I.P., Chopra, K., and Saini, A. Probiotics: potential pharmaceutical applications. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2002; 15(1): 1-9.
- Kumar A, Kumar D. Characterization of *Lactobacillus* isolated from dairy samples for probiotic properties. *Anaerobe*. 2015; 33:117-23.
- Landa-Salgado P, Caballero-Cervantes Y, Ramirez-Briebesca E, Maria Hernandez-Anguiano A, Mariana Ramirez-Hernandez L, Espinosa-Victoria D, et al. Isolation and identification of potentially probiotic lactic acid bacteria for Holstein calves in the Mexican Plateau. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2019; 10(1):68-83.
- Lee KW, Park JY, Sa HD, Jeong JH, Jin DE, Heo HJ, et al. Probiotic properties of *Pediococcus* strains isolated from jeotgals, salted and fermented Korean sea-food. *Anaerobe*. 2014; 28:199-206.
- Montoro BP, Benomar N, Gómez NC, Ennahar S, Horvatovich P, Knapp CW, et al. Proteomic analysis of *Lactobacillus pentosus* for the identification of potential markers involved in acid resistance and their influence on other probiotic features. *Food Microbiology*. 2018; 72:31-8.
- Ong JS, Taylor TD, Yong CC, Khoo BY, Sasidharan S, Choi SB, et al. *Lactobacillus plantarum* USM8613 Aids in Wound Healing and Suppresses *Staphylococcus aureus* Infection at Wound Sites. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2019:1-13.
- Patel, A. K., Ahire, J. J., Pawar, S. P., Chaudhari, B. L., Shouche, Y. S., and Chincholkar, S. B. Evaluation of probiotic characteristics of siderophoregenic *Bacillus* spp. isolated from dairy waste. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2010; 160(1): 140- 155.
- Rajoka MSR, Mehwish HM, Siddiq M, Haobin Z, Zhu J, Yan L, et al. Identification, characterization, and probiotic potential of *Lactobacillus rhamnosus* isolated from human milk. *LWT-Food Science and Technology*. 2017; 84:271-80.

- Sharma P, Tomar SK, Sangwan V, Goswami P, Singh R. Antibiotic resistance of *Lactobacillus* sp. isolated from commercial probiotic preparations. *Journal of Food Safety*. 2016; 36(1): 38-51.
- Tokatli M, Gülgör G, Bağder Elmacı S, Arslankoz İşleyen N, Özçelik F. In vitro properties of potential probiotic indigenous lactic acid bacteria originating from traditional pickles. *BioMed Research International*. 2015; 2015: 1-8.
- Yu Z, Zhang X, Li S, Li C, Li D, Yang Z. Evaluation of probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from Chinese sauerkraut. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2013; 29(3): 489-98.
- Zago M, Fornasari ME, Carminati D, Burns P, Suárez V, Vinderola G, et al. Characterization and probiotic potential of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from cheeses. *Food Microbiology*. 2011; 28(5):1033-40.



Assessment of antimicrobial and viability of *Lactobacillus plantarum* LZ95 under acidic and bile conditions

E. Isvand Heydari¹, H. Jooyandeh^{2*}, M. Hojjati², B. Alizadeh Behbahani³, M. Noshad³

Received: 2020.03.01

Accepted: 2020.06.22

Introduction: Probiotics are viable microbial food supplements that, when well-arranged in adequate amounts, confer a health advantage on the host. Probiotics have different positive health impacts such as equilibration of intestinal microbiota, prevention of cancer and diarrhea, reduction of cholesterol and blood pressure, adaptation to lactose intolerance, improvement of immune system, decrease of allergic symptoms, inhibition of pathogenic microorganisms etc. Lactic acid bacteria (LAB), are the most common bacteria introduced as probiotics.

Materials and methods: In this research, a strain of *Lactobacillus planetarium* LZ95 was utilized and its probiotic potential was evaluated. This strain had been isolated from a traditional Iranian fermented food known as Ash-Kardeh and had been identified using culture-dependent methods and molecular techniques. *Lactobacillus planetarium*, is one of the known LAB bacteria. The aim of this study was to evaluate the probiotic potential of *Lactobacillus plantarum* LZ95 in relation to its resistance to acid (pH 2.5, 3.5 and 5.5), its ability to grow in different bile salt concentrations (0.2, 0.5, 0.8, 1.2 and 3%), its resistance against *chloramphenicol*, tetracycline, penicillin and gentamycin antibiotics, and its antimicrobial activity against *Listeria innocua*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* by using "Lawn on the spot" method.

Results and discussion: Results shown that the viability of *Lactobacillus plantarum* ranged from 0 to 97.69 percent. The highest and the lowest bacteria viability were determined at pH=5 and 2, respectively. The results revealed that *Lactobacillus plantarum* was able to grow at all tested bile salt concentrations (0.2, 0.5, 0.8, 1.2 and 3%), and the lowest and the highest viability was found at 0.2 and 3 percent of bile salt levels, respectively. *Lactobacillus plantarum* was susceptible to all tested antibiotics. Results also shown that *chloramphenicol* with an inhibition zone diameter of 30.10 mm had the highest anticipation effect on the strain. Antimicrobial activity of *Lactobacillus plantarum* against *Staphylococcus aureus* (gram positive) and *Escherichia coli* (gram negative) with inhibition zone diameters of 11.30 and 7 mm was the highest and the lowest, respectively. The inhibition zone diameter around the strain of *Lactobacillus plantarum* revealed its ability to inhibit the growth of selected pathogenic bacteria. Based on results, the inhibition zone diameter against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Listeria innocua* were 11.30, 7.00, 10.70, and 8.90 mm, respectively. In general, the isolated strain of *Lactobacillus planetarium* LZ95 had an acceptable probiotic potential such as resistance to bile salt and acidic conditions, susceptibility to some commonly antibiotics, and appropriate antimicrobial activity against food pathogenic bacteria. Therefore, this strain can be used in food industry to produce functional food products.

Keywords: *Lactobacillus plantarum*, Bile salts, Resistance to antibiotic, Lawn on the spot method.

1. MSc. student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

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

3. 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: hosjooy@asnrukh.ac.ir)

مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های فیزیکی دانه ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia Villosa*) و بررسی اثر چربی‌گیری و تغییرات pH بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد حاصل از آن

بهداد شکرالهی^۱، محمدعلی حصارینژاد^۲، زهرا زمانی^۳، نگین یوسفی^۴، آنا عبدشاهی^۵، اشکان جبلی جوان^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶

چکیده

نظر به اهمیت روز افزون نیاز به منابع پروتئینی جدید و کمبود منابع پروتئینی حیوانی، استفاده از منابع گیاهی مورد توجه است. هدف از این مطالعه معرفی پتانسیل‌های دانه ماشک گل خوشه‌ای به‌عنوان یک منبع بومی و جدید پروتئینی بود. در این راستا ویژگی‌های فیزیکی دانه و ترکیب شیمیایی و پارامترهای رنگ آرد ماشک گل خوشه‌ای قبل و بعد از چربی‌گیری تعیین شد و تاثیر تغییر pH و چربی‌گیری بر ویژگی‌های عملکردی آرد حاصل مورد بررسی قرار گرفت. متوسط طول، عرض و ارتفاع دانه‌ها به ترتیب ۵/۴، ۵/۳۷ و ۵/۳۸ میلی‌متر و میانگین حسابی و هندسی قطر، ضریب کروی و سطح به ترتیب ۵/۳۸۳، ۵/۳۸۳ و ۵/۳۸۳ میلی‌متر، ۰/۹۹۷ و ۹۰/۹۸۷ میلی‌متر مربع به دست آمد. میانگین دانسیته حقیقی، دانسیته توده و درصد تخلخل به ترتیب ۱۲۸۶/۳ کیلوگرم بر متر مکعب، ۷۸۸/۸ کیلوگرم بر متر مکعب و ۳۸/۶۷ درصد بود. آرد ماشک گل خوشه‌ای کامل و چربی‌گیری شده به ترتیب دارای ۲۸/۳ و ۳۱/۲ درصد پروتئین و همچنین ۸/۲ و ۱۹/۹۲ درصد چربی بود. آرد چربی‌گیری شده L^* بیشتر، a^* و b^* کمتری نسبت به آرد کامل داشت. اندیس حالیت، ظرفیت جذب آب و همچنین روغن آرد ماشک گل خوشه‌ای کامل و بدون چربی به ترتیب ۵/۹۱ و ۷/۲۴، ۱۹۳/۶۹ و ۱۳۲/۹۵ و ۸۵/۰۷ و ۱۹۹/۵۱ درصد به دست آمد. حداقل غلظت ژل‌دهندگی، آرد چربی‌گیری شده کمتر از آرد کامل گزارش شد. چربی‌گیری آرد ماشک گل خوشه‌ای نیز موجب افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون و همچنین ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف شد. نتایج نشان داد تغییرات pH بر میزان حالیت، ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف و ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون آرد ماشک گل خوشه‌ای به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) بود و با تغییر pH می‌توان مقادیر متفاوتی برای این ویژگی‌های عملکردی به دست آورد. با دور شدن از pH ایزوالکتریک ویژگی‌های عملکردی بهبود یافتند.

واژه‌های کلیدی: آرد، چربی‌گیری، خواص عملکردی، خواص فیزیکی، ماشک گل خوشه‌ای

مقدمه

به علت کمبود منابع پروتئین حیوانی، تلاشی بی‌وقفه جهت یافتن منابع جدید پروتئینی و بر خورداری از هر دو ویژگی خواص عملکردی و ارزش تغذیه‌ای آنها صورت می‌گیرد (Kanu et al, 2007). در سال‌های اخیر، به دلیل فراوانی و ارزان بودن حبوبات، به‌ویژه برای

مردم کشورهای در حال توسعه که توانایی کمتری در تامین پروتئین از منابع دامی دارند، پژوهش‌های بسیاری در راستای معرفی و استفاده از فراورده‌های مختلف از حبوبات صورت گرفته است (Assadpour et al, 2010). همچنین به علت ارزش غذایی، کاهش ابتلا به بیماری و ویژگی‌های عملکردی مناسب تمایل به استفاده از این دانه‌ها افزایش یافته است (Kanu et al, 2007). مطالعات فراوانی جهت معرفی و تعیین خواص عملکردی آرد حبوبات و بقولات از قبیل آرد لوبیا قرمز و نخود (El Nasri et al, 2007؛ Adebawale et al, 2005)، عدس (Shokrollahi Yanchechmeh et al, 2014)، شنبلیله (Feyzi et al, 2013)، گاو دانه (et al, 2016) Taghizadeh انجام شده است. دانه ماشک گل خوشه‌ای با نام علمی *Vicia Villosa* دانه‌ای از خانواده حبوبات است که ظاهری شبیه ماش دارد. محتوای پروتئینی این دانه بیش از ۲۵ درصد می‌باشد (Alizade et al, 2016)؛ با توجه به بومی بودن، قابلیت تولید این محصول در ایران، مقاوت گیاه به سرما و خشکی و دارا بودن درصد پروتئین بالا در این دانه، آردهای حاصل و فرآورده‌های پروتئینی

۱ و ۵- پژوهشگر و استادیار، مرکز تحقیقات سلامت غذایی (نمک)، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.

۲- استادیار، گروه فرآوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

۶- دانشیار، گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

(Email: jebellija@profs.semnan.ac.ir) (* - نویسنده مسئول)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.86705

هندسی قطر و ضریب کرویت براساس روش تقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) تعیین شد. به‌منظور تعیین جرم هزار دانه، ۱۰۰ دانه با ترازوی دیجیتال توزین شد و با ضرب کردن عدد حاصله در عدد ۱۰، جرم هزاردانه به‌دست آمد (رضوی و همکاران، ۲۰۰۹).

دانشیته حقیقی، دانشیته توده و درصد تخلخل

اندازه‌گیری دانشیته واقعی، دانشیته توده و درصد تخلخل دانه‌ها بر اساس روش رضوی و همکاران (۲۰۰۹) محاسبه شد دانشیته واقعی به روش پیکنومتری، با استفاده از حلال تولوئن اندازه‌گیری شد (تقی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۶).

تعیین ترکیب شیمیایی، شاخص‌های رنگی و خواص عملکردی آرد کامل و آرد چربی‌گیری شده

تعیین ترکیب شیمیایی

به‌منظور تعیین ترکیبات شیمیایی، درصد رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر نمونه‌ها (آرد ماشک گل خوشه‌ای قبل و بعد از چربی‌گیری) اندازه‌گیری شد (AACC, 2003). محاسبه میزان کربوهیدرات نیز از طریق کسر درصد کلیه ترکیبات از ۱۰۰ انجام شد. کلیه آزمون‌ها با دو تکرار صورت گرفت.

بررسی مولفه‌های رنگ

مولفه‌های رنگ (b^* , a^* , L^*) نمونه‌های آرد ماشک گل خوشه‌ای قبل و بعد از چربی‌گیری با استفاده از رنگ‌سنج دیجیتال (CR-410، کونیتامینولتا سنسینگ، ژاپن) تعیین شدند. مولفه L^* بیانگر درجه روشنی نمونه می‌باشد که می‌تواند مقادیر ۰ تا ۱۰۰ را به‌خود اختصاص دهد. مولفه a^* گستره رنگ سبز (مقادیر منفی) تا رنگ قرمز (مقادیر مثبت) و مولفه b^* نیز گستره رنگ آبی (مقادیر منفی) تا رنگ زرد (مقادیر مثبت) را در برمی‌گیرد، کالبراسیون اولیه دستگاه با استفاده از کاشی سفید استاندارد صورت پذیرفت و به‌منظور بررسی مولفه‌های رنگ، نمونه‌ها در یک پلیت پلاستیکی با قطر ۵۸ میلی‌متر و عمق ۱۵ میلی‌متر قرار گرفتند.

میزان حلالیت آرد

میزان اندیس حلالیت آرد^۱

بررسی میزان حلالیت آرد کامل و چربی‌گیری شده ماشک گل خوشه‌ای بر اساس روش Lee و همکاران (۲۰۱۷) با کمی اصلاحات انجام شد. ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌های توزین شده آرد (۴ گرم) درون لوله‌های آزمایش افزوده و سر لوله‌ها محکم بسته شد. این لوله‌ها به مدت یک ساعت در دمای اتاق نگهداری و گاهی اوقات

حاصل از آن می‌تواند از نظر ویژگی‌های عملکردی و قابلیت استفاده در صنعت غذا مورد ارزیابی قرار گیرد (Rezaiyan Attar et al., 2018). خواص عملکردی آرد و فراورده‌های پروتئینی حاصل تابع عوامل مختلفی نظیر نوع منبع پروتئینی، فرآیند تولید آرد و یا ایزوله پروتئینی، همچنین نوع ترکیبات مرتبط با شبکه پروتئینی مثل لیپید، کربوهیدرات و هرگونه عامل فیزیکوشیمیایی همچون دما، غلظت، نمک و pH می‌باشد (Arogundade et al, 1997; Oshodi et al, 2004; Arogundade et al, 2006). هرگونه تغییر در این عوامل سبب تغییر در خواص عملکردی می‌شود (Aluko et al, 1995). با توجه به پتانسیل استفاده از این دانه به‌عنوان یک منبع پروتئینی جدید و شرایط بهینه استفاده از آن و عدم وجود تحقیقات در مورد آرد حاصله و ویژگی‌های عملکردی آن، تعیین ویژگی‌های عملکردی آرد حاصل و بررسی اثر فرایند چربی‌گیری و تغییر pH بر این ویژگی‌ها به جهت تحقیقات آتی ضروری به نظر می‌رسد. از این طریق می‌توان به نتایج قابل توجهی در زمینه کاربرد آرد ماشک گل خوشه‌ای در فراورده‌های غذایی مختلف دست یافت و به این وسیله هم از ویژگی‌های عملکردی آرد حاصل بهره‌مند شد.

مواد و روش‌ها

ماده اولیه مورد استفاده در این پژوهش شامل دانه ماشک گل خوشه‌ای از بازار محلی استان چهارمحال و بختیاری تهیه گردید. دانه‌ها جهت حذف تمام ذرات خارجی نظیر سنگ ریزه، خار و خاشاک و سایر دانه‌ها، به‌طور دستی به دقت تمیز شدند. دانه‌های تمیز شده در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شده و تا زمان انجام آزمون‌های فیزیکی در مکان خشک و خنک نگهداری شدند. جهت تهیه آرد نیز دانه‌های تمیز شده توسط آسیاب خانگی (۸۳۰۰، توس‌شکن خراسان، ایران) به آرد تبدیل و از الک با مش ۴۰ عبور داده شدند. نیمی از آرد کامل حاصل به مدت ۶ ساعت با حلال هگزان (با نسبت ۱ به ۵) چربی‌گیری و مجدداً از الک با مش ۴۰ عبور داده شد. آردهای چربی‌گیری شده و چربی‌گیری نشده تا زمان بررسی خواص عملکردی در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. کلیه ترکیبات شیمیایی مورد نیاز از نوع آزمایشگاهی با خلوص بالا (سیگما و مجللی) بوده و بدون هیچ‌گونه خالص سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفتند.

بررسی خصوصیات فیزیکی دانه

اندازه‌گیری ابعاد و جرم هزاردانه

ابتدا ۱۰۰ دانه ماشک گل خوشه‌ای به‌طور تصادفی انتخاب و ابعاد آنها شامل طول (L)، عرض (w) و ارتفاع (h) توسط کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. میانگین حسابی و

نمونه آرد با ۱۰ میلی‌لیتر روغن ذرت (دانسیته ۰/۹۲ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) در یک لوله سانتریفوژ از قبل وزن شده به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شد. پس از سانتریفوژ کردن در $2060 \times g$ به مدت ۳۰ دقیقه بخش مایع فوقانی دور ریخته شد و لوله‌ها به مدت چند دقیقه روی کاغذ صافی واژگون نگه داشته شدند. لوله مجدداً توزین گردید. ظرفیت جذب چربی مطابق معادله (۲) محاسبه شد.

(۲) وزن نمونه / (وزن لوله سانتریفوژ + نمونه) - (وزن لوله سانتریفوژ + رسوب پس از سانتریفوژ) = ظرفیت جذب چربی

تعیین حداقل غلظت ژل‌دهندگی

روش فیضی و همکاران (۲۰۱۵) با تغییرات جزئی برای تعیین ظرفیت ژل‌شدن در هر محلول استفاده شد. حداقل میزان غلظت ژل‌دهندگی غلظتی از نمونه هاست؛ که به هنگام واژگون شدن لوله‌های آزمایش پایین نمی افتد و یا نمی‌لغزد. لوله‌های آزمایش حاوی سوسپانسیون‌های ۶٪، ۸٪، ۱۰٪، ۱۲٪ و ۱۴ درصد (w/v) آرد چربی‌گیری شده و نشده ماشک گل‌خوشه ای در ۵ mL آب مقطر به مدت ۱ ساعت در آب جوش حرارت داده شدند. سپس با استفاده از آب سرد به سرعت سرد شدند. لوله‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس حداقل غلظت ژل‌دهندگی تعیین گردید.

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون به روش مجذوبی و همکاران (۲۰۱۲) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد؛ برای این منظور محلول ۲ درصد آرد در آب مقطر تهیه گردید و سپس به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد، pH درمقادیر ۳، ۴/۵، ۶ و ۹ با استفاده از اسیدکلریدریک و یا سود ۰/۵ مولار تنظیم شد. پس از آن ۵ mL روغن آفتابگردان به محلول اضافه گردید و محلول حاصل در pH مورد نظر به مدت ۳ دقیقه با استفاده از دستگاه اولتراتوراکس (تی ۲۵ دیجیتال، آیکای آلمان) در ۱۰۰۰۰ rpm هموژن و ارتفاع کل محتویات امولسیون شده ثبت شد (H_0). امولسیون حاصل در $1100 \times g$ به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد و دوباره ارتفاع لایه امولسیون باقیمانده ثبت شد (H_1). ظرفیت امولسیون‌کنندگی (EC) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید.

(۳) $100 \times (H_1 / H_0) =$ درصد ظرفیت امولسیون‌کنندگی

همچنین برای محاسبه پایداری امولسیون، نمونه‌ها پس از هموژنیزاسیون با اولتراتوراکس و قبل از سانتریفوژ در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بدین

لوله‌ها به‌خوبی تکان داده شدند. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در $800 \times g$ سانتریفوژ شد و فاز بالایی در دمای ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شد تا به وزن ثابت رسید. میزان حلالیت آرد یا همان میزان کل مواد جامد محلول در فاز روئی، از طریق خشک کردن فاز روئی و وزن آن و تقسیم آن بر مقدار نمونه تعیین گردید (Lee et al., 2017).

میزان حلالیت پروتئین آرد^۱

میزان حلالیت پروتئین برای دو آرد کامل و چربی‌گیری شده در pH طبیعی آردها و نیز به‌منظور بررسی تاثیر pH، میزان حلالیت پروتئین آرد چربی‌گیری شده در مقادیر pH بین ۲ تا ۱۲ با استفاده از روش بیورت تعیین شد (Feyzi et al, 2015). ابتدا محلول ۱/۵ درصد در آب دیونیزه تهیه گردید و به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH، تنظیم pH به کمک اسید کلریدریک و یا هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار صورت گرفت. محلول به مدت ۳۰ دقیقه به کمک همزن مغناطیسی، در دمای اتاق هم‌زده شد. نمونه‌ها در $500 \times g$ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید تا فاز معلق جدا شود. میزان پروتئین موجود در فاز معلق، با استفاده از روش بیورت از طریق مخلوط کردن ۱ میلی‌لیتر از نمونه با ۴ میلی‌لیتر معرف بیورت و سپس ۲۰ دقیقه قرار دادن در دمای اتاق و به کمک اسپکتروفتومتر (یو وی ۲۶۰۱، رای‌لی چین) تعیین گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. منحنی کالیبراسیون با استفاده از محلول سرم آلبومین گاوی^۲، در غلظت‌های صفر تا ۱۰ (میلی‌گرم/ میلی‌لیتر) در معرف بیورت با نسبت ۱ به ۴ رسم گردید.

ظرفیت جذب آب

ظرفیت جذب آب طبق روش فیضی و همکاران (۲۰۱۵) اندازه‌گیری گردید. ظرفیت جذب آب، ماکزیمم مقدار آبی است که یک گرم نمونه طی سانتریفوژ در $2060 \times g$ به مدت ۱۰ دقیقه به صورت جذب شده باقی می‌ماند. در این آزمون تنها مقادیر کافی آب برای اشباع کردن نمونه و نه برای ایجاد فاز مایع افزوده شد. ظرفیت نگه داری آب از رابطه (۱) محاسبه شد.

(۱) وزن نمونه / (وزن لوله سانتریفوژ + نمونه) - (وزن لوله سانتریفوژ + رسوب پس از سانتریفوژ) = ظرفیت جذب آب

ظرفیت جذب چربی

ظرفیت پیوند با چربی نیز مطابق روش تقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) با کمی تغییرات اندازه‌گیری گردید. به‌طوری که یک گرم

1 Protein Solubility

2 Bovine serum albumin (BSA)

تعیین سطح و حجم دانه‌ها در محاسبات مربوط به خشک کردن و طراحی سیلوها و مخازن نگهداری به کار می‌روند (رضوی و همکاران، ۲۰۰۹). ابعاد این دانه شامل طول، عرض و ضخامت به ترتیب معادل $۵/۴۰ \pm ۰/۰۴$ ، $۵/۳۷ \pm ۰/۰۲$ و $۵/۳۸ \pm ۰/۰۲$ میلی‌متر بود که بیشتر از ابعاد ماشک معمولی و گاو دانه می‌باشد (Yal-cin et al, 2016)؛ Taghizadeh et al, 2009). قطر حسابی و هندسی محاسبه شده نیز از مقادیر مشابه در مورد لوبیای چیتی (Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۶). سطح دانه‌های ماشک گل خوشه ای از میانگین مقادیر سطح دانه‌های ماشک معمولی و گاو دانه بزرگتر بود (Yal-cin et al, 2009)؛ Taghizadeh et al, 2016).



شکل ۱- تصویر دانه ماشک گل خوشه‌ای

ضریب کروییت ماشک گل خوشه‌ای نزدیک به ۱ بود که نشان از کروی بودن این دانه دارد که میانگین آن از دانه ماشک معمولی بزرگتر بود (Yal-cin et al, 2004). جرم هزار دانه، این دانه نیز از مقادیر مشابه در مورد ماشک معمولی در رطوبت‌های ۱۰/۵۷ تا ۲۰/۶۳ درصد و نیز دانه گاو دانه، بزرگتر بود (Yal-cin et al, 2009)؛ Taghizadeh et al, 2016). دانسیته حقیقی، دانسیته توده و تخلخل به ترتیب در دامنه ۱۲۹۱-۱۲۸۱ کیلوگرم بر متر مکعب، ۰/۷۷۵-۰/۸۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب و ۳۹/۶۰-۳۷/۹ درصد بودند که تمامی این موارد از پارامترهای اندازه‌گیری شده برای دانه گاو دانه کمتر بود (تقی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۶).

ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی و پارامترهای رنگ آرد ماشک گل خوشه‌ای کامل و چربی‌گیری شده و سایر آردها در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود بعد از چربی‌گیری از آرد ماشک گل خوشه‌ای میزان پروتئین، رطوبت، کربوهیدرات و خاکستر افزایش پیدا کرد و مقدار درصد پروتئین در آرد ماشک گل خوشه‌ای کامل (۲۸/۳ درصد) و آرد ماشک گل خوشه‌ای بدون چربی (۳۱/۲ درصد) محاسبه شد که با توجه به مقدار بالای پروتئین، آرد

ترتیب پایداری امولسیون در هر pH با استفاده از رابطه (۴) اندازه‌گیری شد.

$$(۴) \quad ۱۰۰ \times (\text{ارتفاع لایه امولسیون قبل از حرارت} / \text{ارتفاع لایه امولسیفیه بعد از حرارت}) = \text{درصد پایداری امولسیون}$$

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف

ظرفیت کف‌کنندگی با تهیه محلول ۲ درصد آرد در آب مقطر و بر اساس روش Adebawale و همکاران (۲۰۰۵) تعیین شد. به منظور بررسی اثر تغییرات pH بر ظرفیت کف‌کنندگی آرد، pH محلول با استفاده از اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال و یا هیدروکسیدسدیم ۰/۵ مولار، در مقادیر ۴/۵، ۶ و ۹ تنظیم شد. محلول حاصل در pH مورد نظر به مدت ۵ دقیقه توسط همزن مغناطیسی با دور ۳۶۰ rpm هم‌زده شد و سپس به فالكون یا استوانه مدرج منتقل گردید تا حجم محلول قبل از هم‌زدن اندازه‌گیری شود (V_0). محلول به مدت ۲ دقیقه با دستگاه اولتراتوراکس (تی ۲۵ دیجیتال، آیکای، آلمان) با دور ۱۰۰۰۰ rpm هم‌زده شد و بلافاصله حجم کف ثبت شد (V_1). میزان ظرفیت کف‌کنندگی با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید.

$$(۵) \quad ۱۰۰ \times (V_1 / V_0) = \text{درصد ظرفیت کف‌کنندگی}$$

پایداری کف، به صورت میزان کاهش ارتفاع کف پس از ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه مخلوط کردن بررسی شد. برای این منظور حجم کف باقیمانده در زمان مورد نظر (V_2) ثبت گردید و پایداری کف با استفاده از رابطه (۶) زیر محاسبه شد.

$$(۶) \quad ۱۰۰ \times (V_2 / V_1) = \text{درصد پایداری کف}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج حاصل از آزمایشات مطابق با روش مقایسه دوتایی برای دو نوع آرد کامل و چربی‌گیری شده و برای بررسی اثر pH از طرح کاملاً تصادفی در دو تکرار مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط نرم‌افزار SPSS 19 انجام شد. و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل (Excel, 2010) استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی دانه

تصویر دانه ماشک گل خوشه‌ای در شکل ۱ آورده شده است، همچنین نتایج اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی آن در جدول ۱ گزارش شده است. خواص فیزیکی و مکانیکی دانه‌ها نیز در طراحی فرایندهای پس از برداشت اهمیت ویژه‌ای دارند. به عنوان مثال ابعاد و شکل دانه‌ها در انتخاب مش مناسب الک در فرایندهای جداسازی،

در مرحله حذف حلال چربی‌گیری می‌باشد زیرا پوسته حاوی قسمت عمده خاکستر و رنگدانه‌ها می‌باشند که با حذف این قسمت رنگ آرد روشن‌تر می‌شود. همچنین با چربی‌گیری آرد مولفه‌های a^* و b^* آرد کاهش می‌یابد، علت این پدیده را می‌توان خروج بخشی از رنگدانه‌های محلول در چربی در حین فرآیند چربی‌گیری بیان کرد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳). این یافته‌ها مشابه نتایج بیان شده توسط Joshi و همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با آرد نخود کامل و چربی‌گیری شده بود. همچنین در جدول ۲ مؤلفه‌های رنگی آرد برخی دانه‌ها گزارش شده است که با مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با مقادیر گزارش شده می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که آرد ماشک گل خوشه‌ای قبل از چربی‌گیری از نظر روشنایی (L^*) مشابه آرد نخود و آرد سویای کامل بود، از آرد شنبلیله روشن‌تر اما از آرد عدس و آرد ماراما درجه روشنایی کمتری داشت. از نظر پارامتر (a^*) آرد کامل حاصل از این دانه دارای رنگ قرمز و تقریباً مشابه مقدار گزارش شده برای آرد گاو دانه بود که با توجه به ظاهر قرمز رنگ مغز دانه دور از انتظار نیست. از نظر پارامتر (b^*) نیز دارای رنگ زرد مشابه مقدار گزارش شده آرد نخود بود. می‌توان دلیل این تفاوت‌ها را در بین آردهای مختلف به میزان و نوع ترکیبات تشکیل‌دهنده (چربی، پروتئین، نشاسته) و همین‌طور نوع رنگدانه‌های موجود در این آردها نسبت داد. آردهایی که تا حدی باعث ایجاد رنگ قهوه‌ای شوند به‌منظور کاربرد در نان‌ها و کیک‌ها مطلوب هستند و آردهایی که به بی‌رنگ شدن محصول کمک کنند در برخی نان‌ها قابل کاربرد هستند (Feyzi et al, 2013). بر این اساس می‌توان از آرد ماشک گل خوشه‌ای در برخی نان‌ها که رنگ روشن‌تری در آنها مطلوب است، استفاده نمود.

حاصل و فرآورده‌های پروتئینی آن می‌توانند به‌عنوان جایگزین پروتئین‌های حیوانی مطرح باشند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، این مقدار کمتر از مقادیر درصد پروتئین در آرد دانه‌های شنبلیله، سویا، عدس و ماراما (Shokrollahi ; Feyzi et al, 2013; Maruatona et al, 2010; Yanchechmeh et al, 2014). و بیشتر از مقادیر گزارش شده توسط Joshi و همکاران (۲۰۱۵) برای نخود و گاو دانه (تقی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۶) بود. همچنین مقدار درصد چربی در آرد ماشک گل خوشه‌ای بیشتر از مقادیر گزارش شده برای دانه‌های لوبیا قرمز، عدس، لوبیا چیتی در نتایج اسدپور و همکاران (۲۰۱۱) بود. البته نقش کیفیت پروتئین در ویژگی‌های عملکردی بالاتر از کمیت آن است و میزان بالای پروتئین دلیل بر بهتر بودن ویژگی‌های عملکردی آن نیست بلکه به سایر ترکیبات موجود در نمونه نظیر چربی، کربوهیدرات و غیره نیز وابسته است. علاوه بر این کیفیت و آرایش فضایی پروتئین و میزان اسیدهای آمینه آبدوست و آب‌گریز از شاخص‌های اصلی در تعیین ویژگی‌های عملکردی می‌باشند (Asadpour et al, 2011; Boye et al., 2010).

بررسی پارامترهای رنگ

یکی از پارامترهای مهم در مورد آرد و فرآورده‌های پروتئینی نظیر کنسانتره و ایزوله پروتئینی، رنگ آنها می‌باشد. پارامتر L^* نشان‌دهنده درجه روشنی می‌باشد و مقادیر صفر تا ۱۰۰ را می‌تواند به خود اختصاص دهد، هر قدر میزان L^* بیشتر باشد نشان‌دهنده روشن‌تر بودن رنگ است (et al, 2010; Hesarinejad et al., 2017). با توجه به مقادیر گزارش شده در جدول ۲ مؤلفه L^* آرد بعد از چربی‌گیری بیشتر است که نشان‌دهنده روشن‌تر بودن این آرد در صورت چربی‌گیری می‌باشد، که احتمالاً به دلیل حذف پوسته دانه‌ها

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دانه ماشک گل خوشه‌ای

ویژگی	تعداد تکرار	میانگین
طول (میلی‌متر)	۱۰۰	۵/۴۰۰±۰/۱۲
عرض (میلی‌متر)	۱۰۰	۵/۳۷۰±۰/۱۸
ارتفاع (میلی‌متر)	۱۰۰	۵/۳۸۰±۰/۱
میانگین حسابی قطر (میلی‌متر)	۱۰۰	۵/۳۸۳±۰/۱۸
میانگین هندسی قطر (میلی‌متر)	۱۰۰	۵/۳۸۳±۰/۲۲
ضریب کرویت	۱۰۰	۰/۹۹۷±۰/۳۱
سطح (میلی‌متر مربع)	۱۰۰	۹۰/۹۸۷±۰/۱۵
جرم هزار دانه (گرم)	۳	۷۶/۵۰±۰/۱۴
دانسیته حقیقی (کیلوگرم بر متر مکعب)	۳	۱۲۸۶/۳۰۰±۰/۰۹
دانسیته توده (کیلوگرم بر متر مکعب)	۳	۷۸۸/۸±۰/۱
تخلخل (درصد)	۳	۳۸/۶۷±۰/۰۳

جدول ۲- درصد ترکیبات شیمیایی و پارامترهای رنگ (L*, a*, b*) آرد ماشک گل خوشه‌ای قبل و بعد از چربی‌گیری و آردهای مختلف

منبع	b*	a*	L*	کربوهیدرات	خاکستر	چربی	رطوبت	پروتئین	نوع آرد
مطالعه اخیر	۱۹/۴۳ ^b	۱/۸۳ ^b	۸۷/۳۳ ^a	۵۲/۷۷±۰/۱۸ ^a	۳/۵۲±۰/۲۵ ^a	۸/۲±۰/۱۵ ^b	۷/۲۱±۰/۲۱ ^a	۲۸/۳±۰/۰۹ ^a	آرد ماشک گل خوشه‌ای کامل
مطالعه اخیر	۹/۲۱ ^a	۰/۱۱ ^a	۹۰/۱۳ ^b	۵۵/۶۴±۰/۱۳ ^b	۳/۷۷±۰/۱۹ ^a	۱/۹۲±۰/۲۰ ^a	۷/۶۵±۰/۲۶ ^a	۳۱/۲±۰/۲۵ ^b	آرد ماشک گل خوشه‌ای چربی‌گیری شده
شکراللهی و همکاران، ۲۰۱۴	۸/۴	۱/۱۵	۹/۱۴	—	۱/۴۸	۵/۴۳	۱۰/۵۲	۳۱/۰۲	آرد عدس
فیضی و همکاران، ۲۰۱۳	۲۲/۸۱	-۰/۳۳	۸۷/۲۶	۲۳/۱۰	۵/۱۴	۲۱/۹۵	۵/۳۳	۵۴/۹۴	آرد سویا کامل
فیضی و همکاران، ۲۰۱۳	۱۶/۳۸	-۰/۰۴	۹۱/۷۵	۲۶/۸۵	۶/۱۰	۷/۱۳	۵/۳۴	۶۶/۰۲	سویا چربی‌گیری شده
Joshi et al, 2015	۱۹/۸۷	۲/۹۶	۸۶/۳	۷۹/۷۵	۱/۶۳	۳/۹۸	۹/۱۵	۱۴/۶۳	آرد نخود
فیضی و همکاران، ۲۰۱۳	۲۹/۸۳	-۱/۰۷	۷۸/۹۱	۵۹/۵۳	۵/۱۷	۵/۷۶	۷/۳۳	۳۴/۷	آرد کامل شنبلیله
فیضی و همکاران، ۲۰۱۳	۲۳/۷۹	-۳/۳۹	۸۹/۳۵	۴۷/۳۵	۴/۰۷	۱/۲۴	۶/۶۷	۵۱/۴۰	آرد چربی‌گیری شده شنبلیله
Maruaton a et al, 2010	۲/۳	۴/۸	۹۶/۵	۳۵/۲	۵/۱	۷	۶/۷۲	۵۲/۷	آرد ماراما
تقی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۶	۲۲/۲	۲/۱۲	۸۸/۲	۶۱/۰	۳۳/۱۶	۱۲/۲۴	۵۳/۱۲	۹۸/۱۶	آرد گاودانه

جدول ۳- خصوصیات عملکردی آرد ماشک گل خوشه‌ای قبل و بعد از چربی‌گیری

نمونه	اندیس حلالیت (درصد)	حلالیت پروتئین (mg/ml)	ظرفیت امولسیون کنندگی (درصد)	پایداری امولسیون (درصد)	ظرفیت کف کنندگی (درصد)	پایداری کف (درصد)	حداقل غلظت ژل دهندگی (درصد)
آرد ماشک گل خوشه‌ای کامل	۵/۹۱±۰/۰۴ ^a	۲/۸۶±۰/۰۳ ^a	۳۵/۶±۰/۲ ^a	۲۵/۱±۰/۴ ^a	۸۷±۱ ^a	۳۷/۹±۰/۸ ^a	۱۲±۰/۵ ^a
آرد ماشک گل خوشه‌ای چربی‌گیری شده	۷/۲۴±۰/۰۸ ^b	۴/۰۳±۰/۰۱ ^b	۴۸/۳±۱/۰۸ ^b	۴۴/۲±۰/۲۸ ^b	۱۱۵±۱ ^b	۵۷/۴±۱/۱ ^b	۱۴±۰/۵ ^b

اندیس حلالیت آرد

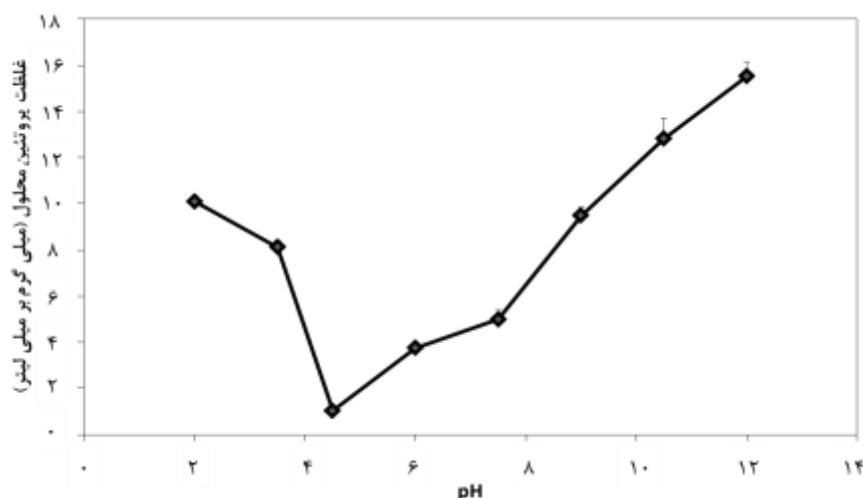
هرقدر میزان حلالیت آرد بیشتر باشد، قابلیت تلفیق و ادغام آن با مواد غذایی بیشتر و راحت‌تر و ارزش غذایی آن‌ها نیز بیشتر خواهد شد، ولی تا حدی قابلیت تشکیل ژل، چسبندگی و امولسیون‌کنندگی آن کمتر می‌گردد (Singh et al, 2008). اختلاف در میزان حلالیت

آردهای مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت ترکیب شیمیایی آن‌ها باشد. وجود چربی می‌تواند تا حد زیادی بر میزان اندیس حلالیت تاثیر گذارد (Ravaghi et al, 2010). دلایل دیگری نظیر تفاوت در تعادل گروه‌های جانبی هیدروفیل و هیدروفوب (به‌خصوص در اسیدآمینه‌های سطحی پروتئین) و نیز دنا تورا سیون پروتئین که بر تعادل گفته شده اثر

بالایی هستند به‌منظور استفاده در نوشیدنی‌ها مناسب می‌باشند (Kinsella, 1979).

میزان حالیت پروتئین آرد

در بین ویژگی‌های عملکردی مختلف، حالیت پروتئین در شرایط گوناگون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دلیل این اهمیت، تأثیرگذاری حالیت آرد و پروتئین آن بر سایر خواص عملکردی می‌باشد (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳). از طریق این اثرگذاری، پروتئین می‌تواند ویژگی قابل توجه دیگری همانند ایجاد طعم، عطر و بافت مطلوب و ارزش غذایی را به همراه داشته باشد (Kinsella, 1982).



شکل ۲- تاثیر مقادیر مختلف pH بر روی حالیت پروتئین آرد ماشک گل خوشه‌ای

غلظت را ۴-۵ pH ذکر کرده‌اند (Adebowale et al, 2005)؛ نکته قابل ملاحظه دیگر که با نتایج به دست آمده در اکثر مقالات مطابقت دارد، با افزایش یا کاهش pH از نقطه ایزوالکتریک، دافعه الکترواستاتیک زیاد شده و در نتیجه حالیت افزایش می‌یابد. همچنین در این حالت میزان زنجیره‌های جانبی آب‌گریز کاهش یافته و آب‌گیری یونی به-ویژه در مقادیر بالاتر pH افزایش می‌یابد (Damodaran, 1997). در مورد آردها احتمالاً pHهای قلیایی در افزایش گروه‌های هیدروفیل باردار (یونیزه شونده) در سطح پروتئین مؤثرتر از pHهای اسیدی عمل کرده‌اند. این یافته‌ها مشابه نتایج بیان شده توسط محققان مختلف است (Feyzi et al, 2013; Taghizadeh et al, 2016; Kaur et al, 2011; Gupta et al, 2008; Asadpour et al, 2007).

ظرفیت جذب آب و روغن

جذب آب را باید مهم‌ترین خصوصیت فیزیکی آردها دانست. این پدیده نه تنها بر ساختمان فیزیکی و خصوصیات ماده غذایی حاوی

می‌گذارد؛ می‌تواند بر اختلاف در حالیت آردهای مختلف اثر داشته باشد گردد (Adebowale et al, 2004) در مورد اندیس حالیت تفاوت معنی‌داری بین آرد کامل و آرد چربی‌گیری شده مشاهد شد ($P < 0.05$). به‌طوریکه اندیس حالیت آرد ماشک گل خوشه‌ای کامل و بدون چربی به‌ترتیب ۵/۹۱ و ۷/۲۴ درصد به‌دست آمد. علت این اختلاف را می‌توان تفاوت در میزان چربی دو نمونه در نظر گرفت که در نهایت بر میزان حالیت و پخش‌پذیری دو نوع آرد اثر می‌گذارد. آردها، کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئینی که دارای قابلیت حالیت

نتایج حاصل نشان داد چربی‌گیری تاثیر معنی‌داری بر مقدار حالیت پروتئین دارد به‌گونه‌ای که حالیت پروتئین در آرد کامل ماشک گل خوشه‌ای و بدون چربی به‌ترتیب 0.23 ± 0.38 و 0.33 ± 0.38 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌دست آمد. این مقادیر از مقدار گزارش شده برای آرد شنبلیله (۶/۹۸) کمتر و از آرد سویا (۱/۷) بیشتر بود (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳). شکل ۲ حالیت پروتئین آرد ماشک گل خوشه‌ای را در مقادیر ۲-۱۲ pH نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است حالیت پروتئین آرد مورد بررسی در این پژوهش، کاملاً وابسته به تغییرات pH می‌باشد. در نقطه ایزوالکتریک در $pH = 4/5$ حداقل حالیت پروتئین‌های موجود نشان داده شده است، Gupta و همکاران، (۲۰۰۸) دلیل کاهش حالیت در نقطه ایزوالکتریک را کاهش نیروی دافعه در بین اسیدهای آمینه تشکیل دهنده پروتئین و توازن بین یون‌های مثبت و منفی و در نتیجه کاهش نیروی دافعه الکترواستاتیک و کاهش حالیت پروتئین بیان کردند. نتایج به‌دست آمده در مورد نقطه ایزوالکتریک در $pH = 4/5$ با اکثر مقالات مورد مطالعه یکسان است به‌طوری که در بیشتر آنها pH ایزوالکتریک ایزوله‌های پروتئینی، کنسانتره‌های پروتئینی و آرد حبوبات و برخی

پروتئین آنها مربوط می‌شود. در جدول ۴ مقادیر جذب آب و چربی در آرد دانه‌های مختلف قابل مشاهده است؛ همانطور که از جدول استنباط می‌شود، مقدار جذب آب و جذب چربی آرد دانه‌های کامل از آرد چربی‌گیری شده کمتر است. بر اساس نظریه Adebawale و همکاران (۲۰۰۵) با افزایش میزان چربی در نمونه، جذب آب کاهش می‌یابد زیرا وجود چربی در نمونه باعث کاهش بخش‌های در دسترس برای اتصال گروه‌های هیدروفیل با آب می‌باشد، بنابراین با حذف چربی از آرد حبوبات، خاصیت جذب آب افزایش می‌یابد. Kaur و Singh (۲۰۰۷) نشان دادند که هرچه میزان چربی آرد بالاتر باشد، ظرفیت جذب آب کاهش می‌یابد. Raghav و همکاران (۲۰۰۴) وجود فیبر خام را نیز به عنوان عامل جذب آب موثر می‌دانند.

پروتئین (مثل خشک شدن) تأثیر می‌گذارد، بلکه بر روی فساد ماده غذایی نیز به دلیل اثر بر میزان فعالیت آبی حائز اهمیت است (بخشی مقدم و همکاران، ۲۰۱۳). ظرفیت نگهداری آب تابعی از میزان پروتئین و فیبر (Kinsella, 1979)، آرایش فضایی پروتئین، میزان آبدوستی و آبگریزی پروتئین و همچنین حضور کربوهیدرات‌های آبدوست می‌باشد (Seena et al, 2005). در این پژوهش ظرفیت جذب آب آرد کامل و بدون چربی ماشک گل خوشه‌ای به ترتیب $4/40 \pm 132/95$ و $6/74 \pm 193/69$ درصد می‌باشد که از آرد کامل سایر حبوبات شامل عدس ($118/11$ درصد)، لوبیا چیتی ($107/09$ درصد) و نخود به میزان ($80/56$ درصد) بیشتر بود و ظرفیت جذب آب آرد کامل، لوبیا قرمز ($146/15$ درصد) کمتر می‌باشد. تفاوت در میزان ظرفیت نگهداری آب در حبوبات مختلف به اختلاف در ساختار

جدول ۴- ظرفیت جذب آب و روغن آرد ماشک گل خوشه‌ای قبل و بعد از چربی‌گیری و آردهای مختلف (Joshi et al, 2015)

نوع آرد	ظرفیت جذب روغن (g/100 g)		ظرفیت جذب آب (g/100 g)	
	آرد کامل	آرد چربی‌گیری شده	آرد کامل	آرد چربی‌گیری شده
ماشک گل خوشه‌ای	$0/85 \pm 0/07^a$	$1/19 \pm 0/1^b$	$1/33 \pm 0/4^a$	$1/94 \pm 0/2^b$
نخود	$0/94 \pm 0/01$	$1/19 \pm 0/09$	$2/30 \pm 0/07$	$2/54 \pm 0/08$
برنج	$0/75 \pm 0/01$	$1/10 \pm 0/06$	$1/26 \pm 0/06$	$1/54 \pm 0/00$
گندم	$1/05 \pm 0/12$	$1/26 \pm 0/15$	$1/85 \pm 0/18$	$1/92 \pm 0/00$
ارزن	$0/86 \pm 0/00$	$1/00 \pm 0/12$	$1/41 \pm 0/13$	$1/48 \pm 0/00$

می‌باشد و در غذاهایی نظیر فرآورده‌های گوشتی، خمیر شیرینی‌ها و سوپ‌ها به عنوان یک فاکتور با اهمیت محسوب می‌شود (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳). بسیاری از پژوهشگران میزان جذب روغن را به عنوان محبوس کردن فیزیکی روغن عنوان نموده‌اند و آن را به زنجیره‌های غیرقطبی پروتئین که ممکن است با زنجیره‌های جانبی هیدروکربنی روغن پیوند برقرار کنند و همچنین به شکل فضایی پروتئین نسبت می‌دهند. در نتیجه اختلاف بین این عوامل را در مواد غذایی مختلف نظیر حبوبات با اختلاف در اعداد به دست آمده در جذب روغن پیشنهاد می‌کنند (Kaur et al, 2007). باید توجه داشت که بین ویژگی جذب روغن و خاصیت امولسیون‌کنندگی در آرد (پروتئین) حبوبات تفاوت تکنیکی وجود دارد به عبارت دیگر جذب روغن بیشتر یک پدیده فیزیکی است؛ به طوری که ترکیبات و بیوپلیمرهای موجود در نمونه باعث محبوس شدن و به دام افتادن قطرات روغن در داخل خود می‌شوند، اما ویژگی امولسیون‌کنندگی یک پدیده فیزیکی و شیمیایی است و از طریق پیوندهای شیمیایی مختلف مانند پیوند واندروالسی، یونی، قطبی و ... فاز روغن در فاز آب توسط بیوپلیمرهای چربی دوست، آبدوست (اکثرأ پروتئین‌ها) درگیر می‌شود (اسدپور و همکاران، ۲۰۱۰). ظرفیت جذب چربی آرد کامل و بدون چربی مورد

Joshi و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند چربی‌گیری از آرد دانه‌ها موجب حذف فیلم روغنی از ذرات آرد و در نتیجه هیدراتاسیون بهتر مولکول‌های قطبی موجود در آرد می‌شود و همچنین موجب قرارگیری بهتر مولکول‌های آب در بین اجزای آرد و اتصال بهتر اجزای آرد (پروتئین‌ها، نمک‌ها، فیبر) می‌شود و در نتیجه بهبود ظرفیت نگهداری آب را خواهیم داشت. کاربرد اکثر آردها به میزان زیادی به برهمکنش آرد با آب بستگی دارد زیرا، اولین مرحله برای ایجاد خواص عملکردی مناسب در هر سیستم غذایی به برهمکنش این مواد با آب در فرآیند آبدوستی وابسته است، در نتیجه، ظرفیت جذب آب آردها نقش اساسی در فرآیندهای آماده‌سازی مواد غذایی ایفا می‌نماید. کاهش ظرفیت نگهداری آب باعث افزایش هدر رفتن مواد مغذی ناشی از پخت و خارج شدن شیرابه هنگام رفع انجماد می‌شود. تغییرات ظرفیت نگهداری آب ممکن است در ارزیابی اثر فرآیند روی ساختار پروتئین و روی کیفیت مواد غذایی استفاده شود.

مکانیسم جذب روغن، به دلیل اتصالات فیزیکی روغن با اجزاء پروتئینی و میل ترکیبی زنجیره پروتئین‌های غیرقطبی برای اتصال با چربی می‌باشد (Kinsella, 1979; Mao et al, 2012). اتصال چربی در واقع توانایی پروتئین‌ها برای جذب و حفظ آب و چربی

بررسی به ترتیب $1/0.8 \pm 0.7/85$ و $0.30 \pm 0.51/19$ درصد می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، ظرفیت جذب چربی آرد کامل کمتر از آرد چربی‌گیری شده می‌باشد. به لحاظ تئوری محصولات آرد بدون چربی دارای تمام جایگاه‌های باندکردن برای جذب چربی هستند در حالی که حضور چربی این جایگاه‌ها را بلوکه کرده و ظرفیت باند کردن چربی را کاهش می‌دهد (اسدپور و همکاران، ۲۰۱۰)؛ از این رو افزایش میزان چربی در نمونه‌های آرد کامل از ظرفیت باندکردن چربی می‌کاهد. ظرفیت جذب چربی در آرد کامل حبوباتی همچون لوبیای قرمز ($92/10$ درصد) و نخود ($90/2$ درصد) (اسدپور و همکاران، ۲۰۱۰)، آرد نخود ($98-96$ درصد) (Kaur et al., 2007) بیشتر و عدس با $80/45$ درصد کمتر از آرد کامل ماشک گل خوشه‌ای بود.

تعیین حداقل غلظت ژل‌دهندگی

نتایج حداقل غلظت ژل‌دهندگی دو نوع آرد در جدول ۴ مشاهده می‌شود. کم بودن حداقل غلظت ژل‌دهندگی نشان‌دهنده بالاتر بودن توانایی ژل شدن پروتئین ترکیب است (Akintayo, et al, 1999). ژل‌های پروتئینی از طریق واکنش‌های بین ملکولی تشکیل می‌شوند که یک ساختار مستحکم، پیوسته و شبکه‌ای سه‌بعدی را به نمایش می‌گذارند. ژله‌ای شدن پروتئین‌ها می‌تواند از طریق شیمیایی، فیزیکی (مانند حرارت) و آنزیمی تشدید شود که در این تحقیق از طریق حرارت دادن واکنش‌های ژله‌ای شدن تحریک شدند (Adebawale et al, 2004). در این پژوهش حداقل غلظت ژل‌دهندگی، برای آرد کامل ماشک گل خوشه‌ای 14 درصد و برای آرد چربی‌گیری شده آن برابر 12 درصد می‌باشد. این اختلاف به دلیل تفاوت در نسبت ترکیبات مختلف شامل پروتئین، کربوهیدرات و لیپید می‌باشد (Sathe et al, 1981) این مقدار کمتر از مقادیری است که برای بادام زمینی بامبارا ($12\% w/v$)، لوبیا چشم بلبلی ($16\% w/v$)، لوبیا قرمز ($14\% w/v$) (Arema et al, 2007) گزارش شده است.

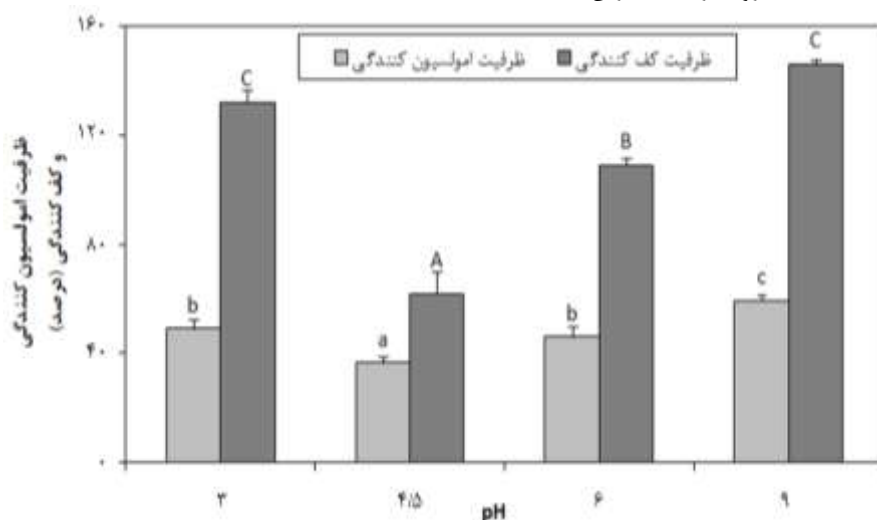
ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون

ویژگی امولسیون‌کنندگی پدیده‌ای فیزیکوشیمیایی است که از طریق تشکیل پیوندهای شیمیایی مختلف مانند پیوند واندروالسی، یونی، قطبی-قطبی و غیره فاز روغن در فاز آب توسط درشت مولکول‌های چربی دوست-آبدوست صورت می‌گیرد. چربی موجود، مکان‌هایی که برای باند کردن مواد آب‌گریز در دسترس است را بلوکه می‌کند، این امر باعث کاهش آبدوستی سطحی می‌شود که به‌طور معمول برای تشکیل امولسیون امری ضروری است (کوچکی و حصاری‌نژاد، ۲۰۱۷؛ Oladele et al., 2007). ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد کامل و بدون چربی ماشک گل خوشه‌ای

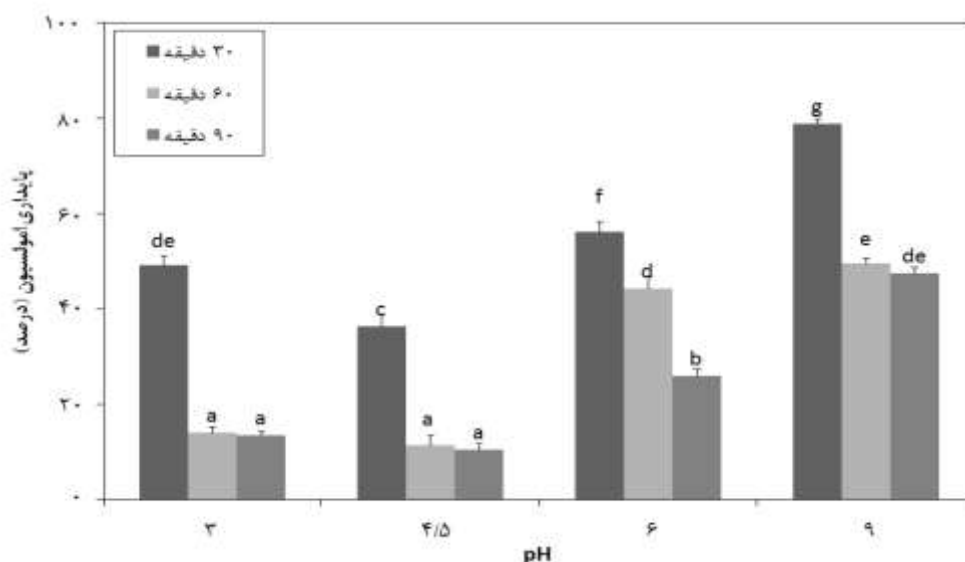
همان‌طور که در جدول ۳ گزارش شده است به ترتیب برابر $35/6$ و $48/3$ درصد، همچنین پایداری امولسیون حاصل بعد از 30 دقیقه برای آرد کامل و بدون چربی این پژوهش به ترتیب برابر $25/1$ و $44/2$ درصد محاسبه گردید. در مورد آرد کامل می‌توان دلیل پایین بودن ظرفیت امولسیون‌کنندگی را به بالا بودن چربی آن ($8/2$ درصد) نسبت داد؛ به این دلیل که در آرد کامل قسمتی از ظرفیت امولسیون‌کنندگی آن توسط چربی اشباع گردیده است و لذا ظرفیت پذیرش روغن اضافی آن کمتر از آرد چربی‌گیری شده است. اسدپور و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند مقدار ظرفیت امولسیون‌کنندگی آردهای لوبیا چیتی برابر $25/83$ ، لوبیا قرمز برابر $23/10$ ، عدس برابر $20/12$ و نخود برابر $19/46$ درصد می‌باشد و دلیل پایین بودن ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد عدس و نخود را به میزان بالای چربی در این آردها نسبت داده‌اند (اسدپور و همکاران، ۲۰۱۱). پروتئین می‌تواند توسط کاهش کشش سطحی قطره‌های روغن و فراهم کردن دافعه الکتروستاتیکی بر سطح قطره روغن، امولسیون را تشکیل داده و سبب پایداری آن شود. نتایج تحقیقات محققان نشان داده است که خواص امولسیون‌کنندگی تابع حلالیت پروتئین است، بنابراین طبیعی است که pH با اثر بر حلالیت پروتئین، بر خواص امولسیون‌کنندگی آرد تأثیرگذار باشد. بار خالص در لایه بین سطحی آب دوست-چربی دوست به pH محلول وابسته است و ممکن است فعالیت امولسیون‌کنندگی پروتئین را کاهش و یا افزایش دهد. اختلاف در ظرفیت امولسیون‌کنندگی آردها در برابر pH ممکن است به دلیل برهمکنش ترکیبات دیگر آرد نظیر کربوهیدرات با پروتئین، بین کربوهیدرات با کربوهیدرات، بین کربوهیدرات و پروتئین با سایر ترکیبات نظیر فیبر، سلولز و خاکستر باشد که بر روی این خاصیت تأثیر می‌گذارند (Oladele et al, 2007). بررسی آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد اثر ۴ سطح مختلف در pH بر ظرفیت امولسیون‌کنندگی نمونه‌ها معنی‌دار است ($P < 0.05$). در شکل ۳، تأثیر pH بر میزان امولسیون‌کنندگی آرد کامل ماشک گل خوشه‌ای نشان داده شد که در $pH = 4/5$ ظرفیت امولسیون‌کنندگی به دلیل نزدیک شدن به نقطه ایزوالکتریک کاهش می‌یابد، کاهش حلالیت منجر به کاهش سرعت مهاجرت پروتئین به سمت لایه بین سطحی آب و روغن شده و میزان جذب پروتئین در لایه بین سطحی کاهش می‌یابد. به همین دلیل با کاهش غلظت پروتئین در لایه بین سطحی فعالیت امولسیون‌کنندگی کاهش می‌یابد (Piornos et al, 2015). این مشاهده با نتایج El-Tinay و El-Nasri (۲۰۰۷) در مورد ایزوله پروتئین شنبليله، Lawal و همکاران (۲۰۰۴) در مورد ایزوله پروتئین لوبیای لوکاس و اسدپور و همکاران (۲۰۱۱) در مورد آرد حبوبات مختلف همخوانی داشت. با دور شدن از نقطه ایزوالکتریک و افزایش حلالیت نمونه‌ها میزان امولسیون تولیدی نیز افزایش می‌یابد (Ragab et al, 2004). در حالی که در $pH = 9$ بیشترین میزان

دارد و دلیل آن را تجمع و عدم پایداری غشای بین سطحی عنوان نموده‌اند، که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

ظرفیت امولسیون به دلیل حلالیت بالای پروتئین مشاهده شد. Adebawale و همکاران (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که ظرفیت امولسیون آرد بامبارا گزندات در pH ایزوالکتریک کمترین مقدار را



شکل ۳- تاثیر مقادیر مختلف pH بر ظرفیت امولسیون کنندگی و کف کنندگی آرد ماشک گل خوشه‌ای



شکل ۴- تاثیر مقادیر مختلف pH و زمان بر پایداری امولسیون آرد ماشک گل خوشه‌ای

پروتئین ضعیف می‌باشند و ذرات امولسیون تمایل به بهم پیوستگی و انعقاد دارند، بنابراین امولسیون پایداری ضعیفی ایجاد می‌کند. Lawal (۲۰۰۴) و فیضی و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان کردند کمترین پایداری امولسیون در نقطه pI می‌باشد. علت احتمالی کاهش پایداری امولسیون در pI را کاهش بیش از اندازه نیروهای دافعه در این pH و در نتیجه تشدید اتصال، تجمع و نهایتاً لخته شدن مولکول‌های پروتئین بیان داشت. ارتباط بین پایداری امولسیون و pH مانند رابطه

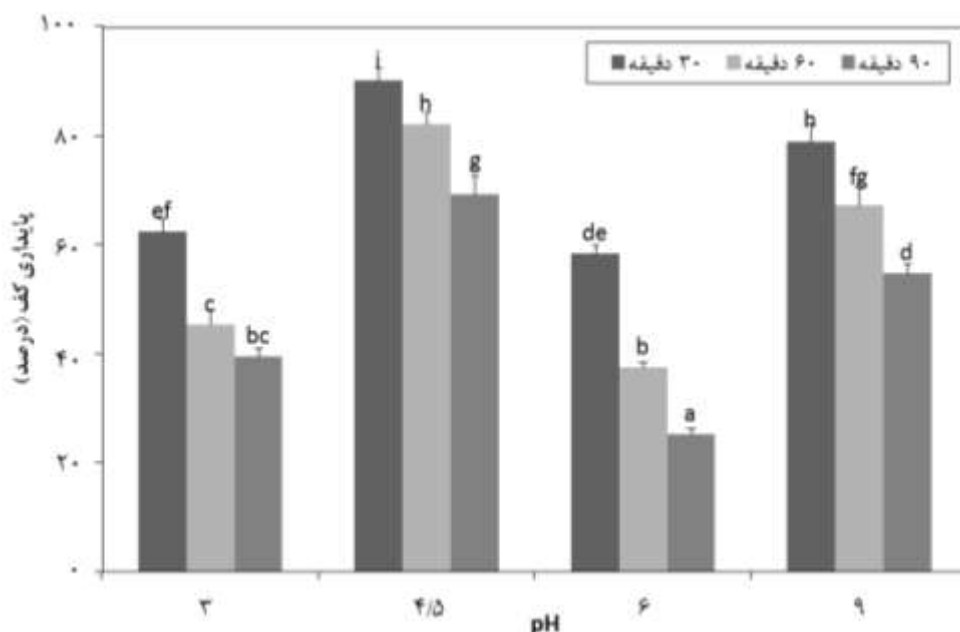
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با گذشت زمان، پایداری امولسیون کاهش می‌یابد که علت این کاهش می‌تواند بهم پیوستن ذرات فاز پراکنده (قطرات روغن) در طی زمان باشد. با توجه به شکل ۴ بیشترین پایداری در pH= ۹ مشاهده شد، که ممکن است به دلیل میزان بیشتر پروتئین‌های محلول باشد که می‌توانند از طریق تشکیل لایه‌هایی پایدار و همچنین توازن میان برهمکنش‌های واندروالسی و دافعه نیروهای الکترواستاتیکی در پایداری امولسیون مؤثر باشند. در حالیکه در pH= ۴/۵ که برابر pH ایزوالکتریک است نیروهای دافعه

بین حلالیت پروتئین و pH می‌باشد که با نتایج مطالعات Raghab و همکاران (2003) و تقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت.

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف

کف در مواد غذایی شامل پراکندگی حباب‌های گاز در داخل یک فاز مایع و یا یک فاز نیمه جامد پیوسته است. خاصیت کف‌کنندگی به‌عنوان درصد افزایش حجم ناشی از زدن تعریف می‌گردد و معمولاً در ایجاد خصوصیات رئولوژیکی مطلوب در مواد غذایی نظیر بافت نان، کیک، خامه‌زده شده و بستنی نقش اساسی دارد (Oladele et al, 2007). پروتئین‌ها با دارا بودن ترکیبات فعال سطحی موجب تولید کف در آردها شده و همچنین پروتئین‌های محلول باعث کاهش کشش سطحی در فضای بین سطحی حباب‌های هوا و مایع احاطه شده می‌شوند. تولید فیلم‌های پروتئینی چندلایه، باعث شده انعطاف‌پذیری سطح هوا- آب افزایش یابد، در نتیجه شکست حباب‌های هوا سخت شده و کف مستحکم‌تری تشکیل می‌شود. با روغن‌گیری میزان حلالیت پروتئین افزایش می‌یابد که سبب افزایش تشکیل کف می‌شود (Ghodsvali et al, 2005). مقایسه میانگین نتایج آزمون کف‌کنندگی نشان داد که آردهای تحت آزمون تفاوت معنی‌داری از نظر کف‌کنندگی داشتند ($P < 0.05$). ظرفیت کف‌کنندگی اندازه‌گیری بیشترین کف تولید شده توسط یک محلول است در حالی که پایداری کف مقاومت کف نسبت به از بین رفتن کف را نشان می‌دهد. حضور چربی به‌طور معنی‌داری ظرفیت و پایداری کف را کاهش می‌دهد. لیپیدها در مقایسه با پروتئین‌ها با سرعت بیشتری جذب سطح مشترک هوا- آب می‌شوند و از جذب سطحی پروتئین‌ها حین تولید کف جلوگیری می‌کنند. از آن‌جا که فیلم لیپیدی تولیدی فاقد خصوصیات ویسکوالاستیک و چسبندگی مورد نیاز برای تحمل فشار داخلی حباب کف است، حباب‌های بزرگی ایجاد می‌شود که حین فرآیند ایجاد کف به سرعت از بین می‌روند. این امر دلیل احتمالی کاهش معنی‌دار خصوصیات کف‌کنندگی با افزایش محتوای چربی است (Oladele et al, 2007). ظرفیت کف‌کنندگی آرد کامل و بدون چربی ماشک گل خوشه‌ای همان‌طور که در جدول ۳ گزارش شده است به‌ترتیب ۸۷ و ۱۱۵ درصد همچنین پایداری کف حاصل بعد از ۳۰ دقیقه برای آرد کامل و بدون چربی این پژوهش به‌ترتیب ۳۷/۹ و ۵۷/۴ درصد محاسبه گردید. میزان بالای کف و پایداری کف حاصل از آرد چربی‌گیری شده را می‌توان به دلیل ساختار پروتئین و پایین بودن میزان چربی در آن نسبت داد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که میزان کف‌کنندگی آرد کامل و بدون چربی مورد بررسی در این تحقیق از میزان کف حبوبات مورد بررسی توسط اسدپور و همکاران (۲۰۱۱) بر روی آرد حبوبات لوبیا قرمز با ۶۸ درصد، لوبیا

چیتی ۶۴/۵ درصد، عدس ۴۷ درصد و نخود ۳۵/۵ درصد بیشتر بوده است. می‌توان وجود اختلاف در میزان کف‌کنندگی حبوبات مختلف را به مقدار و نوع پروتئین‌های محلول در آن‌ها و همچنین میزان لیپیدهای قطبی و غیرقطبی موجود در آن‌ها نسبت داد. به عبارت دیگر قابلیت کف‌کنندگی مناسب بستگی به وجود مولکول‌های پروتئین انعطاف‌پذیری دارد که قادرند کشش سطحی را کاهش دهند، در حالی که قابلیت کف‌کنندگی ضعیف به پروتئین‌های کروی مربوط می‌شود که به‌طور خیلی منظم قرار دارند و در برابر دناتوراسیون سطحی مقاومت می‌کنند (Ragab et al, 2004). همچنین ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف به تغییرات pH وابسته‌اند (شکل ۳). با توجه به داده‌های به‌دست آمده کمترین میزان کف‌کنندگی در محدوده نقطه ایزوالکتریک ($pH = 4/5$)، مشاهده شد که این عامل را به فشرده‌تر بودن پروتئین نسبت به pH‌های دیگر نسبت داده‌اند. با افزایش pH بعد از نقطه ایزوالکتریک، افزایش کف‌کنندگی مشاهده شد، که می‌توان آن را به افزایش انعطاف‌پذیری پروتئین‌ها در آرد نسبت داد. نتایج به‌دست آمده در رابطه با میزان کف‌کنندگی با نتایج اکثر پژوهشگران مطابقت دارد (Adebawale et al., 2005; Seena et al.; Lawal et al., 2005; Arogundade et al., 2006). در شکل ۳ ملاحظه می‌شود که بیشترین ظرفیت کف‌کنندگی در $pH = 9$ ، مشاهده شد که ممکن است به دلیل کاهش واکنش‌های آب‌گریزی پروتئین‌ها و افزایش بار الکتریکی شبکه پروتئینی باشد که این عوامل باعث انتشار سریع‌تر پروتئین در فضای بین سطح هوا- آب شده و در نتیجه سبب به دام افتادن ذرات هوا و افزایش تشکیل کف می‌شوند (Oladele et al, 2007). نتایج پایداری کف پس از گذشت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه در pH ۴ شکل ۵ مشاهده می‌شود و همان‌طور که از شکل استنباط می‌شود، پایداری کف در تمامی سطوح pH با گذشت زمان کاهش می‌یابد علاوه بر این بیشترین میزان پایداری کف درمورد آرد کامل ماشک گل خوشه‌ای در $pH = 4/5$ مشاهده گردید. که با نتایج بسیاری از پژوهشگران نظیر (Asadpour et al., 2007; Aremo et al., 2011; Taghizadeh et al., 2006; Arogundade et al., 2005; Lawal et al., 2005) مطابقت دارد. پایداری بهتر کف در pH ایزوالکتریک ممکن است به دلیل تشکیل لایه‌های مولکولی پایدار در این pH باشد که این لایه‌ها باعث پایداری و الاستیسیته کف می‌شود. به علاوه پروتئین در نزدیک pH ایزوالکتریک دارای بار خالص کمتری باشد؛ و ممکن است در تشکیل لایه‌های مولکولی پایدار در سطح بین هوا- آب شرکت کند و در نتیجه پایداری کف را افزایش دهد.



شکل ۵- تاثیر مقادیر مختلف pH و زمان بر پایداری کف آرد ماشک گل خوشه‌ای

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با هدف شناخت دانه و آرد ماشک گل خوشه‌ای، به بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دانه و نیز ویژگی‌های عملکردی آرد حاصل از آن قبل و بعد از چربی‌گیری پرداخته شد. در بخش اول، خصوصیات فیزیکی رایج شامل؛ ابعاد، قطر حسابی و هندسی، ضریب کرویت، دانسیته و تخلخل اندازه‌گیری و با سایر دانه‌ها مقایسه گردید. خصوصیات شیمیایی آرد حاصل قبل و بعد از چربی‌گیری اندازه‌گیری و مشاهده شد پس از چربی‌گیری از آرد ماشک گل خوشه‌ای میزان پروتئین، رطوبت، کربوهیدرات و خاکستر افزایش یافته است. در بخش دوم خواص عملکردی آرد ماشک گل خوشه‌ای قبل و بعد از چربی‌گیری اندازه گرفته شد و اثر pH بر این خواص روی آرد کامل ماشک گل خوشه‌ای مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد حذف چربی باعث بهبود توانایی آرد در حفظ چربی و آب، اندیس حلالیت،

منابع

- AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved Method. 2003. 08-03, 8th ed., St. Paul, MN, USA.
- Adebawale, K. O., and Lawal, O. S. 2003. Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrate. *Food Chemistry*, 83, 237–246.
- Adebawale, K.O. & Lawal, O.S. 2004. Comparative study of the functional properties of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and mucuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. *Food Research International*, 37: 355-365.
- Adebawale, Y.A., Adeyemi, I.A. & Oshodi, A.A. 2005. Functional and physicochemical properties of flours of six *Mucuna* species. *African Journal of Biotechnology*, 4: 1461-1468.
- Akintayo ET, Oshodi AA, Esuoso KO. Effect of ionic strength and pH on the foaming and gelation of pigeon pea (*cajanus cajan*) protein concentrates. *Food Chem* 1999; 66: 51-6.

- Alizade, Kh., Lamei, J., Fakhrevaee, A., Neyestani, E., Shabani, A., Bahrami, S., Vaezi, B., and Khademi, K. 2008. Production of forage plant in the arid and semiarid dryland. Pp. 279. In: Proceedings of the 2nd National Conference of Forage Plants.
- Aluko, R.E. & Yada, R.Y. 1995. Structure-function relationship of cowpea (*Vigna unguiculata*) globulin isolate: influence of pH and NaCl on physicochemical and functional properties. *Food Chemistry*, 53: 259-265.
- Aremo, M. O., O. Olaofe and E. T. Akintayo (2007). "Functional properties of some Nigerian varieties of legume seed flours and flour concentration effect on foaming and gelation properties." *Journal of Food Technology* 5(2): 109-11
- Arogundade, L. A. 2006. Functional characterization of Tef (*Eragrosticstef*) protein concentrate: Influence of altered chemical environment on its gelation, foaming, and water hydration properties. *Food Hydrocolloids*, 20: 831-838.
- Arogundade, L. A., Tshay, M., Shumey, D., and Manazie, S., 2006, Effect of ionic strength and/or pH on extractability and physicochemical characterization of board bean (*Vicia faba* L.) protein concentrate, *Food Hydrocolloids*, 20, 1124-1134.
- Arogundade, L.A., Akinfenwa, M.O. & Salawu, A.A. 2004. Effect of NaCl and its partial or complete replacement with KCl on some functional properties of defatted *Colocynthis citrullus* L. seed flour. *Food Chemistry*, 84: 187-193.
- Asadpour, E.; Jafari, S.M.; Mahoonak, A.S.; Ghorbani, M., 2011. Evaluation of emulsifying and foaming capacity of the legume flours and the influence of pH and ionic strength on these properties, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 7(1), 80-91.
- Assadpour, E.; Jafari, S. M.; Mahoonak, A. S.; Ghorbani, M., 2010. Evaluation of Protein Solubility and Water and Oil Holding Capacity of the Legume Flours, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6(3), 184-192.
- Bakhshi moghadam, F., Milani, E., Mortazavi, S. A., Meshkani, S. M.(2013). Effect of extraction methods on functional properties of Chickpea protein isolated. *Journal of Food Science and Technology*, 10 (38) .11-20 (in Persian).
- Boye J, Zare F, Pletch A. 2010a. Pulse protein: Processing, characterization, functional properties and application in food and feed. *Food Research International*, 43: 414-431.
- Damodaran, S. 1997. Food proteins: An overview. In S. Damodaran. A. Paraf (Eds.), Food proteins and their applications (pp. 1-21). New York: Marcel Dekker.
- El Nasri, N.A. & El Tinay, A.H. 2007. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food Chemistry*, 103: 582-589.
- Feyzi S., Varidi M., Zare F. and Varidi M.J., 2013. Investigation of chemical composition, color parameters, and functional properties of Fenugreek flour and comparison with soybean flour. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 2(2), 121-138 (in Persian).
- Feyzi, S., Varidi, M., Zare, F., & Varidi, M. J. (2015). Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) seed protein isolate: extraction optimization, amino acid composition, thermo and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(15), 3165-3176.
- Ghodsvali, A., Haddad Khodaparast, M. H., Vosoughi, M., and Diosady, L. L. 2005. Preparation of canola protein materials using membrane technology and evaluation of meals functional properties. *Food Research International*. 38, 223-231.
- Gupta, S., Chandi, G. K., and Sogi, D. S. 2008. Effect of Extraction Temperature on Functional Properties of Rice Bran Protein Concentrates. *International Journal of Food Engineering*, 66: 103-116.
- Hesarinejad, M. A., Rezaian, A. F., Mosaffa, O., & Shokrolahi, Y. B. (2017). The effect of incorporation of chlorella vulgaris into cake as an egg white substitute on physical and sensory properties. *Food Science and Technology*, 14(68), 61-72.
- Joshi, A. U., Liu, C., Sathe, S. K. 2015. Functional properties of select seed flours. *LWT- Food Science and Technology* 60: 325-331.
- Kanu, P. J., Kerui, Z., Ming, Z. H., Haifeng, Q., Kanu, J. B., and Kexue, Z. 2007. Sesame protein: Functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) protein isolate as influenced by PH, temperature, time and ratio of flour to water during its production. *Asian Journal of Biochemistry*, 5: 289-301.
- Kaur, M., Singh Sandha, K. 2010. Functional, thermal and pasting characteristics of flours from different lentil (*Lens culinaris*) cultivars. *Journal of food science and technology-mysore* 47(3):273-278.
- Kaur, M., Singh, N. 2007. Characterization of protein isolates from different Indian chickpea cultivars. *Food Chemistry*, 102: 366-74.
- Kinsella, J. E. (1982). Relationship between structure and functional properties of food proteins. *Food proteins*, 1, 51-103.
- Kinsella, J. E. 1979. Functional properties of soy protein. *Journal of American Oil Chemists Society*, 56: 242-249.
- Koochaki, A., & Hesarinezhad, M.A. (2017). Effect of freezing, pasteurization and sterilization on physical properties of oil-in-water stabilized with *lepidium perfoliatum* seed gum and whey protein concentrate. *Food Science and Technology* 14 (64), 21-31.
- Koocheki, A., Razavi, S. M., & Hesarinejad, M. A. (2012). Effect of extraction procedures on functional properties of *Eruca sativa* Seed Mucilage. *Food Biophysics*, 7(1), 84-92.
- Lawal, O. S. 2004. Functionality of African locust bean (*Parkia biglobossa*) protein isolate: effects of pH, ionic strength and various protein concentrations. *Food Chemistry*, 86: 345-355.

- Lawal, O. S., K. O. Adebawale, and Adeyemi. 2005. Effects on the functional properties of globulin and albumin protein fractions and flours of African locust bean (*Parkia biglobossa*). *Food Chemistry* 92(4): 681-691.
- Lee, M. J., Kim, M. J., Kwak, H. S., Lim, S. T., & Kim, S. S. (2017). Effects of ozone treatment on physicochemical properties of Korean wheat flour. *Food science and biotechnology*, 26(2), 435-440.
- Majzoobi, M., Abedi, E., Farahnaki, A., Aminlari, M. 2012. Functional properties of acetylatedglutenin and gliadin at varying pH values. *Food Chemistry*, 133:1402-1407.
- Mao X and Hua Y, 2012. Composition, structure and functional properties of protein concentrates and isolates produced from walnut (*Juglans regia* L.). *International Journal of Molecular Science*, 13: 1561- 1581.
- Maruatona, G. N., Duodu, K. G., Minnaar, A. 2010. Physicochemical, nutritional and functional properties of marama bean flour. *Food chemistry*, 121, 400-405.
- Oladele, A. K. and J. O. Aina 2007. Chemical composition and functional properties of flour produced from two varieties of tiger nut (*Cyperus esculents*). *African Journal of iotechnology* 6(21): 2473-2476.
- Oladele, A.K. Aina, J. O. 2007. Chemical composition and functional properties of flour produced from two varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *African Journal of Biotechnology* .6: 2473-2476.
- Oshodi, A.A. & Ojokan, E. 1997. Effect of salts on some of the functional properties of bovine plasma protein concentrate. *Food Chemistry*, 59: 333-338.
- Piornos, J. A., Burgos-Díaz, C., Ogura, T., Morales, E., Rubilar, M., Maureira-Butler, E., Salvo-Garrido, H. 2015. Functional and physicochemical properties of a protein isolate from AluProt-CGNA: A novel protein-rich lupin variety (*Lupinus luteus*). *Food Research International*, 76(3):719-724.
- Ragab, D. M., and Babiker, E. E. 2004. Fractionation, solubility and functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) proteins as affected by pH and/or salt concentration. *Food Chemistry*. 84(2): 207- 212.
- Ravaghi M. Mazaheri M. Asoodeh A. 2010. Evaluating the functional properties of four types of soy flour produced in Iran, *Journal of Food Research* 6(3). 1-7 (in Persian).
- Ravaghi M. Mazaheri M. Asoodeh A. 2011. Role of Soy Flour Type and Production Procedure on Chemical and Functional Properties of Its Protein Concentrate. *Journal of Food Research* 21(1). 71-82 (in Persian).
- Razavi, M.A., Fathi, M. 2009. Moisture-Dependent Physical Properties of Grape (*Vitis vinifera* L.) Seed. *Philippine Agricultural Scientist*, 92:201-212.
- Razavi, S. M. A.; Zahedi, I.; Mahdavian Mehr, H. 2009. Some Engineering Properties of Plantago major L. (Barhang) Seed, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 5(2), 88-96.
- Rezaian Attar, F., Rezagholi, F., & Hesarinejad, M. A. (2018). Vicia villosa protein isolate: a new source of protein to make a biodegradable film. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 461-471.
- Sadeghi M., Abbasi M. and Masoomi A. 2010. Physical and Aerodynamic Properties of Pinto Bean Grain as Affected by Moisture Content, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*. 42(2). 145-152.
- Sathe SK, Salunkhe DK. Functional properties of great northern bean proteins: emulsion, foaming, viscosity and gelation properties. *J Food Sci* 1981; 46: 71-5.
- Seena, S.K. & Sridhar, R. 2005. Physiochemical, functional and cooking properties of Canavalia, *Food Chemistry*, 32: 406-412.
- Shokrollahi Yanchechmeh, B; Mohebbi, M; Varidi, M; Ansarifar, E, 2014. Effects of Temperature, Frying time and Lentil Flour Addition to the batter formulation on quality of simulated fried crust by using a Deep-Fried Model System, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 10(3). 266-275.
- Singh, P., Kumar, R., Sabapathy, S. N., & Bawa, A. S. (2008). Functional and edible uses of soy protein products. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 7(1), 14-28.
- Taghizadeh M., Shokrollahi B., Hamed F., 2016. Evaluation the physicochemical and mechanical properties of bittersweet seed (*Vicia ervilia*) and the functional properties of its flour, *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology* 13(1), 38- 52 (in Farsi).
- Yal-cin, C. Ozarslan, O. 2004. Physical Properties of Vetch Seed. *Biosystems Engineering*, 88: 507-512.



Evaluation the physical properties of *Vicia Villosa* seed and Study the effect of defatting and pH on the physicochemical and functional properties of its flour

B. Shokrollahi Yancheshmeh¹, M. A. Hesarinejad², Z. Zamani³, N. Yousefi⁴, A. Abdolshahi⁵, A. Jebelli Javan^{6*}

Received: 2020.05.02

Accepted: 2020.10.07

Introduction: Due to increasing the demand for new sources of protein and the lack of animal protein sources, using and replacing of plant proteins is widely considered. The purpose of this study was to identify the potential of *Vicia villosa* flour as a native and novel source of protein. In this research, the physical properties of vicia villosa seed and chemical composition (protein, fat, ash, and carbohydrate and moisture contents) and color parameters of its full fat flour were determined and compared with defatted flour as well as the effect of defatting and pH on the functional properties of full fat and defatted *vicia villosa* flour were investigated.

Materials and methods: *Vicia Villosa* seed was obtained from the local market in Chaharmahal and Bakhtiari province and was cleaned, skinned and, milled. Half of the full fat flour was defatted. The obtained flours were then refrigerated at 4°C for further analysis. Physical properties of the seed including size, dimension, mass, true and bulk density as well as porosity were measured using standard methods and calibrated equipments. Chemical composition of both the seed and skinned seed's flour (moisture content, fat, protein and ash) were determined using standard methods (AACC, 2003). The carbohydrate content of the samples was determined by subtraction of the sum of other compositional substances from 100. Color properties, protein solubility, water soluble index, water and oil absorption capacity, least gelation concentration, foaming capacity and emulsifying capacity and emulsion stability and foaming stability were also measured for the full fat and defatted *Vicia Villosa* flours.

Results and discussion: The results obtained from the measurement of physical properties for the *Vicia Villosa* seed showed that length, width, and thickness of the seeds were 5.4 mm, 5.37 mm, and 5.38 mm respectively. The surface area of seeds was found to be 90.98 mm². True density, bulk density, and porosity of samples were found to be 1286.3 mm³, 788.8 mm³, and 38.67%, respectively. The amount of protein for full fat and defatted *Vicia Villosa* flour was 28.3% and 31.02%, respectively. L* was measured for the obtained flours and the highest L* was belonged to defatted *Vicia Villosa* flour, probably due to the removal of the seed shells in the solvent removal stage. Defatting of flour would result in brighter and increase in protein content of flour. The test on protein solubility showed the high dependency of this parameter to pH of the flour proving the U form dependency in the pH range of 2-12. At an isoelectric point of 4.5, the minimum solubility of existing proteins was shown. Water and oil absorption capacity of Full fat were 1.33± 0.4 and 0.85± 0.07 and Defatted *Vicia Villosa* flour, were 1.94± 0.2 and 1.19± 0.1 respectively (grams of water or oil per grams of the sample). Furthermore, at pH= 4.5, the emulsion and foaming capacity decrease due to its proximity to the isoelectric point. It is noteworthy that in isoelectric pH, the highest foaming stability and the lowest emulsion stability were observed. In addition, the results showed that pH and defatting conditions have a significant effect on functional properties that can be created by changing these parameters, flours, and products with various characteristics. The results showed that changes in pH and defatting process affected the solubility, water and fat absorption, least gelation concentration, foaming capacity and emulsion capacity of flour, so that by defatting and changing pH, functional properties improved significantly.

Keywords: Flour, Defatting, pH, Functional properties, *Vicia Villosa*.

1 and 5. Researcher and Assistant Professor, Department of Food Safety Research Center (Salt), Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran

3. PhD student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

4. PhD student, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran.

6. Associate Professor, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Semnan University, Semnan, Iran.

(*Corresponding Author Email: jebellija@profs.semnan.ac.ir)

مقاله پژوهشی

تأثیر غنی سازی با پودر پروتئین ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) بر

پروفاایل اسید آمینه، ترکیبات شیمیایی و خصوصیات حسی بیسکویت

الهام امین پور دافچاهی^۱ - اسحق زکی پور رحیم آبادی^{۲*} - هانیه رستم زاد^۳ - انسیه نجات پیرسرای^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶

چکیده

هدف این پژوهش بررسی کیفیت تغذیه‌ای و خصوصیات حسی بیسکوئیت غنی شده با پودر پروتئین ماهی کپور نقره‌ای (*H. molitrix*) می‌باشد. تیمارهای تحقیق شامل: بیسکوئیت تولید شده از ۱۰۰ درصد آرد گندم (۱۰۰۰۰ نسبت آرد گندم به پودر پروتئینی ماهی) به عنوان تیمار شاهد، بیسکوئیت حاوی ۲/۵ درصد پودر پروتئینی ماهی (۹۷/۵:۲/۵) با عنوان تیمار ۱ و بیسکوئیت حاوی ۵/۰ درصد پودر پروتئینی ماهی (۹۵/۰:۵/۰) با عنوان تیمار ۲، بودند. برای تهیه پودر پروتئین ماهی از پروسه چرخ کردن، مخلوط کردن با آب، حرارت دادن همراه با همزدن مداوم، سانتریفوژ کردن و خشک کردن انجمادی استفاده گردید. بررسی پروفاایل اسید آمینه، محتوای پراکسید، TBA، ترکیبات شیمیایی و ارزیابی حسی بیسکوئیت طی ۳ ماه نگهداری در دمای اتاق ارزیابی شد. در نتایج آنالیز پروفاایل اسید آمینه پودر پروتئین ماهی و بیسکوئیت، ۱۷ نوع اسید آمینه شناسایی گردید. مجموع کل محتوای اسید آمینه موجود در پودر پروتئین ماهی ۹۷۵/۱۹ میلی گرم در یک گرم نمونه و مقدار کل اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری در تیمار شاهد ۳۶/۵۱ میلی گرم در یک گرم بود که با افزودن پودر پروتئین ماهی به بیسکوئیت جهت غنی سازی در سطح ۲/۵ و ۵ درصد این مقدار به ترتیب به ۵۰/۹۱ و ۶۷/۳۷ میلی گرم در یک گرم نمونه افزایش یافت. ارزیابی شاخص‌های حسی نمونه‌های بیسکوئیت اختلاف معنی داری را بین تیمار شاهد و تیمارهای غنی سازی شده با پودر پروتئین ماهی نشان نداد.

واژه‌های کلیدی: بیسکوئیت، غنی سازی، کیفیت تغذیه‌ای، پروفاایل اسید آمینه، پودر پروتئین ماهی.

مقدمه

چندین عامل از جمله کمیت و کیفیت ترکیبات مورد استفاده است (Abboud *et al.*, 1985). از بین مواد تشکیل دهنده بیسکوئیت، کیفیت آرد گندم نقش اصلی را در کیفیت محصول نهایی ایفا می‌کند. زیرا از لحاظ کمیت، بیشترین مقدار را در فرمولاسیون داشته و ساختار و بافت بیسکوئیت تحت تأثیر پروتئین آرد به‌ویژه گلوتن است (Baltsavias, 1999).

بیسکوئیت‌ها از جمله مواد خوراکی عامه پسند هستند که به دلیل طعم گوناگون، زمان ماندگاری طولانی، گوناگونی طعم، دسترسی آسان و تا اندازه‌ای قیمت پایین آن به وسیله طیف گسترده‌ای از مردم مصرف می‌شود (Gandhi *et al.*, 2001; Hooda and Jood, 2005; Sudha *et al.*, 2007). از آنجایی که بیسکوئیت‌ها معمولاً از آرد، کره و شکر تولید می‌گردند محتوای کربوهیدرات‌های آسان هضم شونده و چربی‌ها در آن‌ها بالا بوده و در عوض محتوای فیبر خوراکی آن‌ها کم و محتوای پروتئین‌شان در حد متوسط می‌باشد (Park *et al.*, 2007).

نیازهای انسان برای حفظ سلامتی و رشد باید از طریق غذا تأمین گردد. لذا داشتن یک جیره غذایی کامل که برطرف کننده تمامی نیازهای انسان باشد، ضروری می‌باشد. طی سال‌های اخیر، آگاهی افراد در زمینه کیفیت تغذیه و تأثیر آن بر سلامت جسمی و ذهنی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است و مصرف کنندگان بیش از پیش بر این باورند که تغذیه، تأثیر مستقیمی بر سلامت روحی و جسمی آنان بر جای می‌گذارد (Siró *et al.*, 2008). افزایش آگاهی مصرف کنندگان در زمینه ارتباط میان تغذیه و سلامت، موجب تقاضای روز افزون آنان جهت دریافت مواد خوراکی مغذی، سالم و با کیفیت شده است (Ngo *et al.*, 2011). اهمیت غلات، به‌خصوص گندم در تغذیه بشر به صورت استفاده مستقیم یا استفاده از فرآورده‌های آن‌ها به‌خوبی مشخص می‌باشد (Wrigley *et al.*, 2004). کیفیت بیسکوئیت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پر مصرف‌ترین فرآورده‌های غلات، تحت تأثیر

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

DOI: 10.22067/iftstrj.v17i4.87661

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان.

۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار و استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه

گیلان.

با توجه به کامل نبودن ارزش غذایی پروتئین غلات، و رونق گرفتن بازار برخی از محصولات آماده مصرف نظیر بیسکوئیت به لحاظ تغییر الگوی زندگی و مناسب بودن این ماده غذایی برای پذیرش مکمل‌ها و ضرورت غنی‌سازی مواد غذایی برای حفظ سلامت جامعه و بالا بودن ارزش غذایی پروتئین ماهی، اگرچه برخی مطالعات در خصوص غنی‌سازی بیسکوئیت با سایر محصولات پروتئینی آبریان وجود دارد ولی تاکنون گزارشی در خصوص بررسی تاثیر غنی‌سازی بیسکوئیت با پودر پروتئین ماهی در ایران صورت نپذیرفته است. لذا تحقیق حاضر به دنبال بررسی تاثیر استفاده از پودر پروتئینی ماهی در بیسکوئیت، بر ارزش غذایی آن و تغییر پروفایل اسید آمینه و بررسی پذیرش کلی محصول توسط مصرف کنندگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای این منظور، ماهیان تازه صید شده کپور نقره‌ای از بازار ماهی فروشان شهر رشت (رشت، گیلان) تهیه و بلافاصله به همراه یخ در داخل یونولیت‌های خاص به آزمایشگاه انتقال داده شدند. زمان صید تا انجام مراحل آماده‌سازی کمتر از ۳ ساعت بوده است. پس از آماده‌سازی اولیه، اقدام به تهیه پودر پروتئین ماهی گردید. بر اساس فرمولاسیون استفاده شده توسط Munaza و همکاران (۲۰۱۲) که به میزان زیادی مشابه فرمولاسیون بیسکوئیت پتی‌بور (مینو، ایران) می‌باشد، مواد مورد نیاز برای تولید بیسکوئیت تهیه گردیدند. تیمارهای تحقیق شامل: ۱- تیمار شاهد، ۲- تیمار ۱ (جایگزینی ۲/۵ درصد آرد گندم با پودر پروتئین ماهی) ۳- تیمار شماره ۲ (جایگزینی ۲/۵ درصد آرد گندم با پودر پروتئین ماهی) بودند (Ibrahim, 2009; Mohamed et al., 2014). مطابق تیمارها، بیسکوئیت‌ها تولید گردیده و در بسته‌های مناسب بسته‌بندی گردیدند. جهت بررسی‌های کمی و کیفی بیسکوئیت‌ها، بررسی پروفایل اسید آمینه، محتوای پراکسید^۱، تیوباربیتوریک اسید^۲ به منظور بررسی ثبات اکسیداسیونی بیسکوئیت‌ها، محتوای بازهای فرار کل^۳، محتوای ترکیبات شیمیایی و ارزیابی حسی بیسکوئیت‌ها طی ۳ ماه نگهداری در دمای اتاق در فواصل زمانی خاص اندازه‌گیری گردیدند.

روش تهیه پودر پروتئین ماهی

از روش تیمار حرارتی به کار گرفته شده توسط Sathivel و همکاران (۲۰۰۵) با اندکی تغییرات به شرح زیر، برای استخراج پودر پروتئینی از گوشت چرخ شده ماهی کپور نقره‌ای استفاده گردید. برای این منظور، ابتدا گوشت ماهی چرخ شده و سپس با حجم برابر با آب

(2015)، افزایش سطح آگاهی عمومی جامعه و شناخت ارتباط بین غذا و سلامت، باعث شده تا افراد به دنبال کسب آگاهی و اطلاع از غذای مصرفی خود باشند. به همین سبب، تولید بیسکوئیت با محتوای پروتئینی بالا خصوصاً در جوامع محروم به یک چالش سودمند مبدل گردیده است (Yeh et al., 1998).

آبریان از گذشته به عنوان یکی از غذاهای بسیار مهم از نظر ارزش غذایی و دارویی مطرح بوده‌اند. ماهی و فرآورده‌های آن به عنوان منابع غذایی حاوی پروتئین‌های با کیفیت بالا، چربی‌های اشباع نشده، ویتامین و مواد معدنی مورد توجه قرار داشته‌اند. امروزه مصرف ماهی به عنوان غذای سلامتی، پیشگیری‌کننده از انواع بیماری‌ها و مؤثر در درمان برخی بیماری‌ها مورد تأیید دانشمندان و متخصصین علوم تغذیه بوده و تأمین و قرار دادن آن در سید غذایی خانوار، از دغدغه‌های متولیان تولید و امور تغذیه می‌باشد (Hossaini et al., 2016). آبریان دارای پروتئین بالا، چربی کم، کلسترول کم و همین‌طور دارای ویتامین‌ها و املاح می‌باشند و به عنوان غذایی برای حفظ سلامتی در انسان شناخته شده‌اند (Venugopal, 2006). غذاهای دریایی منبع پروتئینی با ارزشی برای انسان‌ها می‌باشند و در یک رژیم غذایی سالم نقش مهمی را ایفا می‌کنند و می‌توانند در برآورده کردن نیازهای تغذیه‌ای افراد جامعه خصوصاً در کشورهای در حال توسعه مؤثر واقع گردند (Kose et al., 2001).

محصولات پروتئینی مختلفی از ماهی و آبریان و ضایعات آن‌ها تولید گردیده است که از جمله آن‌ها می‌توان به کنسانتره پروتئینی، پروتئین هیدرولیز شده و پودر پروتئین ماهی و غیره اشاره نمود. اگرچه تمامی این محصولات، ماهیت پودری داشته و به نوعی پودر پروتئینی به حساب می‌آیند. اما در تولید محصول پودر پروتئین ماهی (Fish protein powder or FPP) مراحل مختلف بهداشتی و خالص‌سازی صورت پذیرفته تا محصولی به دست آید که دارای قابلیت استفاده برای مصارف انسانی باشد. پودر پروتئین ماهی در صنایع غذایی برای توسعه محصولات غذایی آماده مصرف و همچنین محصولات با ساختار مجدد (Re-structured) مورد استفاده قرار می‌گیرند. از FPP می‌توان به عنوان یک جزء کاربردی برای توسعه محصولات آماده مصرف استفاده نمود (Shaviklo, 2015). افزودن پودر پروتئین ماهی سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای غذاهای بر پایه حبوبات گردیده است (Venugopal, 2006). غنی‌سازی موفقیت‌آمیز کراکرها (Huda et al., 2001) بستنی نان (Adeleke and Odedeji, 2010)، بیسکوئیت شور (Ibrahim, 2009) و سس مایونز (Sathivel et al., 2005) با FPP گزارش گردیده است.

- 1 Peroxide value
- 2 Thiobarbituric acid
- 3 Total volatile bases- nitrogen

Grushka, 1985). ابتدا ۰/۴-۰/۲ از نمونه را به دقت وزن کرده سپس با ۱۰ سی سی اسیدکلریدریک ۶ مولار به خوبی هموژن گردید. آنگاه نمونه (مخلوط) در آون با دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از اتمام زمان انکوباسیون (هیدرولیز اسیدی نمونه)، نمونه در دمای محیط سرد شده و سپس صاف گردید. ۲۰ میکرولیتر از محصول صاف شده را با گاز ازت خشک کرده و سپس با ۱۰۰ میکرولیتر از بافر (شامل سدیم استات، استات مس و هگزان سولفانات) مخلوط شد و پس از سانتریفوژ میزان ۲۰ میکرولیتر از آن به دستگاه HPLC (Elmer series 200, Perkin, USA) یا ستون فنومونکس (C 18 و طول ۱۵ سانتی متر، آمریکا) و آشکارساز (UV-VIS, USA)، تزریق گردید. دبی پمپ، بر روی ۰/۸ میلی لیتر بر دقیقه تنظیم گردید. برای شناسایی اسیدهای آمینه نیز از استاندارد مخلوط ۱۷ اسید آمینه (Thermo Fisher Scientific, USA) استفاده شد.

آزمون های شیمیایی

برای اندازه گیری مقدار پراکسید (PV) و سنجش مقدار تیوباربیتریک اسید (TBA) از روش Namaulema و همکاران (۱۹۹۹) استفاده گردید. مجموع بازهای نیتروژنی فرار (TVB-N) از روش (AOAC, 2000) اندازه گیری گردید. برای اندازه گیری ترکیبات شیمیایی بیسکوئیت ها و پودر پروتئین ماهی از جمله رطوبت، خاکستر، پروتئین خام و چربی خام از استاندارد (AOAC, 2005) استفاده گردید. میزان کربوهیدرات از روش غیرمستقیم و مطابق با روش انجام شده توسط Mohamed و همکاران (۲۰۱۴) اندازه گیری شد.

ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی بیسکوئیت ها از روش هدونیک ۹ نقطه ای استفاده گردید. پس از تولید بیسکوئیت ها، 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 ۱۵ نفر از اساتید و دانشجویان گروه شیلات با نسبت جنسی ۶۰ به ۴۰ (خانم به آقا) و آشنا به موضوع ارزیابی حسی و پس از ارائه آموزش کوتاه، استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل داده های آماری

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار Minitab، نسخه ۱۸ انجام گردید. ابتدا نرمال بودن داده ها با آزمون کلموگراف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفته و به منظور بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف

مقطر (۲۳ درجه سانتی گراد) مخلوط شد و در سرعت بالای مخلوط کن، برای مدت ۲ دقیقه هم زده شده و هموژن گردید. مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد توسط دستگاه همزن مغناطیسی هم زده شد. در طی پروسه گرمادهی، سلول های چربی از هم گسیخته شده و روغن موجود در آن ها به داخل فاز مایع رها شدند. سپس با استفاده از دستگاه سانتریفوژ در ۲۵۶۰ دور در دقیقه برای مدت ۱۵ دقیقه، مخلوط حاصل به ۳ فاز مجزا تقسیم گردیدند: فاز نیمه جامد موجود در ته لوله سانتریفوژ حاوی پروتئین های نامحلول، و فاز بزرگ مایع در قسمت میانی لوله حاوی پروتئین های محلول و فاز سبک (نازک) مایع موجود در قسمت فوقانی لوله سانتریفوژ حاوی چربی خام بوده است. فاز مایع قسمت میانی حاوی پروتئین محلول به همراه پروتئین نامحلول قسمت پایین لوله جدا شده و به روش خشک کردن انجمادی (5003, Dena, Iran) خشک گردیدند (Shaviklo, 2015). از هر کیلو گرم ماهی به طور متوسط ۴۵ گرم پودر پروتئینی تولید گردید.

روش تهیه بیسکوئیت

فرمولاسیون اصلی بیسکوئیت شامل: مخلوط آرد گندم (نول 0000، گله، تهران) و پودر پروتئین ماهی (۱۰۰ گرم)، شکر (۳۰ گرم)، شورتینگ یا روغن قنادی (۲۰ گرم)، پودر شیر (۲ گرم)، کلرید سدیم یا نمک (۱ گرم)، بی کربنات سدیم (۰/۵ گرم)، بی کربنات آمونیوم (۱ گرم)، اسانس وانیل (۰/۲ گرم) و آب (۲۰ میلی لیتر) و مقدار اندکی پودر شیر (حدود ۴ گرم) پس چرخ بود (Munaza et al., 2012). از روش کرم کردن برای تولید بیسکوئیت استفاده گردید. ابتدا چربی و شکر با استفاده از دستگاه مخلوط کن (پارس خزر، ایران) به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شده تا کرم یکنواختی حاصل گردد. در ادامه، درحالی که عملیات مخلوط کردن ادامه داشت، سایر مواد فرمولاسیون اضافه گردیدند و در نهایت آرد اضافه شد و مخلوط کردن تا به دست آوردن خمیری با قوام مطلوب ادامه یافت. خمیر تهیه شده از دستگاه مخلوط کن خارج شده و ورز داده شد و در یک سطح صاف با استفاده از وردنه به صورت صفحاتی با ضخامت متوسط ۳/۵ میلی متر گسترانیده شده و با استفاده از کاتر در ابعاد مناسب و مورد نظر (طول ۶ و عرض ۳ سانتی متر) بریده شد. قطعات تهیه شده در سینی چرب شده مخصوص پخت منتقل گردیده و در داخل آون الکتریکی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ تا ۱۷ دقیقه پخته شدند. بیسکوئیت های پخته شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق خنک شده و برای آنالیزهای بعدی در داخل بسته های زیپ دار LDPE نگهداری گردیدند (Adeola and Ohizua, 2018; Munaza et al., 2012).

آنالیز پروفایل اسیدهای آمینه

سنجش پروفایل اسید آمینه از روش ایزوکراتیک و با استفاده از حلال با سرعت ۰/۸ میلی متر بر دقیقه انجام شد (Levin and

معنی‌دار بین تیمارها از روش تجزیه واریانس یک طرفه (One way ANOVA) و آزمون توکی (Tukey) در سطح احتمال ۹۵ درصد ($p < 0.05$) استفاده گردید. جهت بررسی معنی‌داری شاخص‌های حسی نیز از آزمون غیرپارامتریک کروسکال والیس و برای رسم نمودار نیز از نرم‌افزار Excel (۲۰۱۶) استفاده شد.

نتایج و بحث

پروفایل اسید آمینه بیسکوئیت و پودر پروتئین ماهی

پروفایل اسید آمینه نمونه‌های بررسی شده در جدول شماره ۱ آورده شده است. مطابق نتایج جدول، ۱۷ اسید آمینه در پودر پروتئین حاصل از ماهی کپور نقره‌ای با مقادیر متفاوت شناسایی شد. که از میان آن‌ها ۱۰ اسید آمینه ضروری و ۷ اسید آمینه غیرضروری بودند. در مطالعه

Ibrahim (۲۰۰۹) بر روی کنسانتره پروتئین ماهی تیلاپیا نیز اسیدهای آمینه ضروری مشابه تحقیق حاضر شناسایی گردیده‌اند. اسیدهای آمینه ضروری مشابه تحقیق حاضر نیز در گزارش Cercel و همکاران (۲۰۱۶) در تأثیر غنی‌سازی نان گندم با کنسانتره پروتئین ماهی گزارش گردیده است. در تحقیق حاضر، در بین اسید آمینه‌های ضروری به ترتیب ترئونین و لایزین و در بین اسید آمینه‌های غیر ضروری گلوتامات یا گلوتامیک اسید و آسپارتات یا آسپارتیک اسید بیش‌ترین مقدار را دارا بودند. در مورد محتوای اسیدهای آمینه غیرضروری غالب، نتایج حاضر مشابه نتایج Ibrahim (۲۰۰۹) می‌باشد ولی اسیدهای آمینه ضروری غالب در کنسانتره پروتئین ماهی متفاوت بوده است (Ibrahim, 2009; Cercel et al., 2016). مجموع کل اسیدهای آمینه موجود در پودر پروتئین ماهی ۹۷۵/۱۹ میلی گرم در یک گرم نمونه بوده است.

جدول ۱- محتوای اسیدهای آمینه در پودر پروتئین ماهی و نمونه‌های مختلف بیسکوئیت (میلی گرم اسید آمینه در گرم نمونه)

اسید آمینه	پودر پروتئین ماهی	تیمار		
		شاهد	تیمار ۲/۵ درصد	تیمار ۵ درصد
آسپارتات یا آسپارتیک اسید (Aspartate)	۱۰۰/۶۱	۳/۶۱±۰/۱۰ ^a	۳/۶۱±۰/۵۶ ^a	۴/۴۵±۰/۶۸ ^a
گلوتامات یا گلوتامیک اسید (Glutamate)	۱۵۸/۳۲	۷/۲۶±۰/۲۳ ^a	۱۰/۱۱±۰/۱۴ ^a	۱۰/۴۸±۰/۷۸ ^a
سیرین (Serine)	۴۸/۵۴	۱/۸۸±۰/۱۱ ^b	۲/۱۰±۰/۱۴ ^b	۴/۴۱±۰/۶۴ ^a
گلایسین (Glycine)	۵۰/۴۷	۲/۲۱±۰/۱۱ ^a	۳/۸۸±۰/۰۴ ^a	۴/۱۴±۰/۸۸ ^a
هیستیدین (Histidine)	۳۰/۶۲	۰/۵۶±۰/۱۶ ^a	۱/۴۵±۰/۲۱ ^a	۱/۲۹±۰/۴۴ ^a
آرژینین (Arginine)	۳۳/۸۶	۰/۹۴±۰/۰۷ ^b	۲/۰۷±۰/۱۱ ^a	۲/۴۰±۰/۲۳ ^a
ترئونین (Threonine)	۱۲۹/۸۰	۰/۷۶±۰/۳۰ ^b	۱/۵۸±۰/۳۷ ^b	۴/۱۰±۰/۶۷ ^a
آلانین (Alanine)	۱۳/۲۰	۲/۳۰±۰/۲۵ ^a	۲/۶۴±۰/۱۳ ^a	۳/۲۷±۰/۲۸ ^a
پرولین (Proline)	۳۶/۳۹	۷/۰۳±۰/۲۸ ^b	۸/۳۷±۰/۱۸ ^b	۱۱/۵۲±۰/۵۵ ^a
تیروزین (Tyrosine)	۳۵/۶۲	۱/۵۶±۰/۱۱ ^a	۲/۹۰±۰/۰۷ ^a	۲/۷۱±۰/۵۴ ^a
والین (Valine)	۴۶/۰۸	۱/۶۱±۰/۱۰ ^a	۲/۰۲±۰/۰۵ ^a	۲/۶۶±۰/۵۹ ^a
متیونین (Methionine)	۳۰/۱۲	۱/۵۲±۰/۰۹ ^b	۱/۸۸±۰/۱۱ ^b	۳/۰۰±۰/۲۰ ^a
سیستئین (Cysteine)	۵/۹۱	۰/۰۰±۰/۰۰ ^b	۰/۰۰±۰/۰۰ ^b	۰/۳۷±۰/۱۳ ^a
ایزولوسین (Isoleucine)	۳۶/۲۲	۰/۵۱±۰/۰۳ ^b	۰/۷۱±۰/۳۷ ^b	۲/۱۲±۰/۳۷ ^a
لوسین (Leucine)	۷۸/۴۵	۱/۳۱±۰/۰۹ ^b	۲/۱۴±۰/۲۶ ^b	۴/۲۵±۰/۳۵ ^a
فنیل آلانین (Phenylalanine)	۴۷/۷۹	۱/۷۷±۰/۱۱ ^b	۳/۶۱±۰/۱۸ ^a	۴/۱۵±۰/۵۰ ^a
لایزین (Lysine)	۹۳/۱۹	۱/۶۸±۰/۰۶ ^a	۱/۸۴±۰/۰۷ ^a	۲/۰۵±۰/۱۹ ^a
جمع کل	۹۷۵/۱۹	۳۶/۵۱±۰/۲۲	۵۰/۹۱±۰/۳۹	۶۷/۳۷±۰/۰۲

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

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

غیرضروری) خصوصاً در تیمار ۵ درصد معنی‌دار و قابل ملاحظه بود. نتایج مشابهی از افزایش محتوای تمامی اسیدهای آمینه در غنی سازی بیسکوئیت با کنسانتره پروتئین ماهی توسط Mohamed و همکاران (۲۰۱۴) گزارش گردیده است. گزارش مشابهی از تأثیر افزودن پروتئین

افزودن پودر پروتئین ماهی سبب افزایش محتوای بیش‌تر اسیدهای آمینه شد (جدول ۱). این افزایش در مورد اسیدهای آمینه ترئونین، متیونین، سیستئین، لوسین، ایزولوسین و فنیل آلانین (از اسیدهای آمینه ضروری) و اسیدهای آمینه سیرین، آرژینین، پرولین (از اسیدهای آمینه

است به طوری که مجموع اسیدهای آمینه از ۱۰/۰۳ به ۱۲/۵۱ میلی گرم در ۱۰۰ گرم نمونه افزایش یافت.

پراکسید (PV)

پراکسید محصول اولیه اکسیداسیون روغن‌ها و چربی‌ها است و به طور کلی هر قدر که درجه غیراشباعیت روغن‌ها بیش تر باشد روغن‌ها و چربی‌ها پتانسیل بیش تری برای اکسیداسیون دارند. وقتی که میزان پراکسید به حد معینی برسد، تغییرات مختلفی در روغن‌ها و چربی‌ها صورت گرفته و مواد فرار آلهیدی 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). پراکسیدها ترکیباتی بدون بو و طعم می‌باشند و در مرحله اول تغییرات از طریق شیمیایی قابل اندازه‌گیری هستند (Razavi Shirazi, 2002). مقادیر پراکسید نمونه‌های بیسکوئیت و پودر پروتئین ماهی در روزهای صفر، ۶۰ و ۹۰ پس از تولید در جدول ۲ آورده شده است.

ماهی به نان گندم در افزایش محتوای اسیدهای آمینه توسط Cerrel و همکاران (۲۰۱۶) نیز صورت پذیرفته است. در بررسی تاثیر کنسانتره پروتئین ماهی تیلاپیا بر پروفایل اسید آمینه بیسکوئیت شور نیز افزایش برخی از اسیدهای آمینه گزارش گردیده است (Ibrahim, 2009). نتایج ارزیابی پروفایل اسید آمینه بیسکوئیت‌ها نشان داد که مقدار کل اسید آمینه‌های ضروری و غیرضروری در تیمار شاهد ۳۶/۵۱ میلی گرم بوده است که با افزایش غنی سازی با پودر پروتئین ماهی در سطح ۲/۵ و ۵ درصد این مقدار به ترتیب به ۵۰/۹۱ و ۶۷/۳۷ میلی گرم در گرم نمونه افزایش یافت که بیانگر غنی سازی موفقیت آمیز بیسکوئیت با پودر پروتئین ماهی در سطح ۲/۵ و ۵/۰ درصد و افزایش ارزش غذایی محصول نهایی بوده است. در تیمار ۲/۵ درصد گلوتامات یا گلوتامیک اسید از گروه اسید آمینه‌های غیرضروری و فنیل آلانین از گروه اسید آمینه‌های ضروری بیش ترین مقدار را نشان دادند. در تیمار ۵ درصد نیز پرولین از گروه اسید آمینه‌های غیرضروری و لوسین از گروه اسید آمینه‌های ضروری بیش ترین مقدار بین اسیدهای آمینه را دارا بودند. نتایج Ibrahim (۲۰۰۹) نشان داد که به کارگیری پودر پروتئین ماهی در غنی سازی بیسکوئیت در سطح ۵ درصد نقش مهمی در افزایش محتوای پروتئینی محصول خصوصاً اسید آمینه‌های ضروری داشته

جدول ۲- مقادیر پراکسید (برحسب میلی‌اکی‌والان گرم در کیلوگرم چربی) در نمونه‌های بیسکوئیت شاهد و غنی شده با پودر پروتئین

روز نگهداری	تیمار شاهد	تیمار ۲/۵ درصد	تیمار ۵ درصد
صفر	۰/۳۵± ۰/۰۲ ^{Ac}	۰/۳۷± ۰/۰۰ ^{Ac}	۰/۳۸± ۰/۰۱ ^{Ac}
۶۰	۱/۶۳± ۰/۴۳ ^{Ab}	۱/۶۵± ۰/۰۱ ^{Ab}	۱/۶۳± ۰/۲۹ ^{Ab}
۹۰	۱/۸۸± ۰/۰۱ ^{Aa}	۱/۸۹± ۰/۰۲ ^{Aa}	۱/۹۰± ۰/۰۲ ^{Aa}

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

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

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

میزان پراکسید در تیمار شاهد و تیمارهای غنی شده با کنسانتره پروتئین ماهی در سطح ۳٪ طی مدت زمان نگهداری سه ماه به یک میزان افزایش یافته است و تیمار شاهد با تیمارهای غنی شده تفاوت معنی داری را نشان نداد که هم راستا با نتایج این پژوهش می‌باشد. البته مقادیر PV اندازه‌گیری شده در تحقیق حاضر بسیار پایین تر از مقادیر ذکر شده در تحقیق Mohamed و همکاران (۲۰۱۴) بوده است. بیش ترین میزان PV در روز ۹۰م نگهداری در تیمار ۵ درصد ۱/۹۰ میلی‌اکی‌والان گرم در کیلوگرم چربی بوده است، و این در حالی است در تحقیق Mohamed و همکاران (۲۰۱۴)، بیش ترین میزان در نمونه ۱ درصد کنسانتره پروتئین ماهی و به میزان ۹/۴۰ میلی‌اکی‌والان گرم در کیلوگرم چربی بوده است.

همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد، با گذشت زمان محتوای پراکسید در هر ۳ تیمار افزایش یافت، اما با این حال عدد پراکسید در طول مدت نگهداری از حد مجاز (حداکثر ۲ میلی‌اکی‌والان گرم در کیلوگرم) تجاوز نکرد. مقدار پراکسید در روز صفر در تیمار شاهد ۰/۳۵ میلی‌اکی‌والان گرم در کیلوگرم بوده است، که با افزایش زمان ماندگاری در روز ۹۰ این مقدار به ۱/۸۸ میلی‌اکی‌والان گرم در کیلوگرم رسید. در تیمارهای غنی شده نیز مقدار پراکسید در روز صفر و ۹۰ زمان نگهداری مشابه با تیمار شاهد بوده و تفاوت معنی داری با آن نشان نداد. طبق نتایج به دست آمده غنی سازی بیسکوئیت با پودر پروتئین ماهی در سطح ۲/۵ و ۵/۰ درصد تاثیری در افزایش مقدار پراکسید و اکسیداسیون محصول نداشته است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار پراکسید با نتایج حاصل از غنی سازی بیسکوئیت با کنسانتره پروتئین ماهی (Mohamed et al., 2014) مطابقت داشت. ایشان گزارش نمودند که

تیوباریتوریک اسید (TBA)

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

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

جدول ۳- مقادیر تیوباریتوریک اسید (میلی گرم مالون دی‌آلدید در ۱۰۰۰ گرم) در نمونه‌های بیسکوئیت

روز نگهداری	تیمار شاهد	تیمار ۲/۵ درصد	تیمار ۵ درصد
صفر	0.001 ± 0.000 Bc	0.007 ± 0.002 Ac	0.005 ± 0.000 ABC
۶۰	0.023 ± 0.001 Ab	0.026 ± 0.001 Ab	0.027 ± 0.000 Ab
۹۰	0.040 ± 0.004 Aa	0.039 ± 0.001 Aa	0.039 ± 0.004 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 تأثیر زمان نگهداری بر محتوای تیوباریتوریک اسید می‌باشد.

به یک میزان افزایش داشته و تفاوت معنی داری بین تیمارها وجود نداشت. مقدار TBA برای همه تیمارها در روز صفر ۰/۰۱ و در پایان روز ۰/۰۹/۹۰ بود که مشابه نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است. در تحقیق حاضر، مقدار TBA در روز ۹۰ نگهداری بسیار پایین‌تر از مقدار حداکثری آن (یعنی ۲ میلی‌گرم/کیلوگرم) (Kumar et al., 2106) بوده است. پایین بودن مقادیر PV و TBA در پایان دوره نگهداری نشان‌دهنده ثبات اکسیداسیونی محصول و کیفیت بالای بیسکوئیت‌های تولیدی به لحاظ تولیدات اکسیداسیونی بود.

میزان بازهای نیتروژنی فرار (TVB-N)

تغییرات میزان کل بازهای نیتروژنی فرار در جدول شماره ۴ آورده شده است. یکی از معیارهای تعیین فساد در مواد غذایی و بررسی تغییرات کیفی آن‌ها در دوره نگهداری تعیین میزان ازت فرار در آن‌ها می‌باشد. این ترکیبات از تجزیه ترکیبات ازت‌دار از قبیل پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد ایجاد می‌شود و به نحوی که اسیدهای آمینه به ترکیبات آمینی از جمله آمونیاک تجزیه می‌گردد. بنابراین مجموع بازهای نیتروژنی راهی برای بررسی فساد ترکیبات پروتئینی می‌باشد.

بر اساس نتایج جدول ۳، مقدار تیوباریتوریک اسید (TBA) در روز صفر در تیمار شاهد از سایر تیمارها کمتر بوده اما با گذشت زمان در پایان روز ۹۰ زمان نگهداری عدد آن به ۰/۰۴ رسید که اندکی بیش‌تر از عدد به‌دست آمده برای تیمارهای غنی شده بود. از آن‌جا که مالون دی‌آلدید از تجزیه هیدروپراکسیدها به‌دست 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. طبق نتایج به‌دست آمده در روز صفر تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد و تیمارهای غنی شده وجود داشت ($p < 0.05$)، اما با گذشت زمان و در روز ۶۰ و ۹۰ زمان نگهداری تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. نتایج مشابهی از عدم تفاوت محتوای TBA در انواع غنی شده بیسکوئیت در طول زمان نگهداری توسط Kumar و همکاران (۲۰۱۶) گزارش گردیده است. همچنین مقادیر پایین TBA در نمونه‌های شاهد و بیسکوئیت‌های غنی شده با جلبک اسپیرولینا توسط Abd El Baky و همکاران (۲۰۱۵) گزارش گردیده است. در بررسی Mohamed و همکاران (۲۰۱۴) مشخص گردید که تیمار شاهد و تیمارهای غنی شده

جدول ۴- تغییرات مقدار TVB-N (میلی گرم بر ۱۰۰ گرم) بیسکوئیت شاهد و غنی شده در روز صفر و ۹۰ زمان نگهداری

روز نگهداری	تیمار شاهد	تیمار ۲/۵ درصد	تیمار ۵ درصد
صفر	0.140 ± 0.000 Ab	0.140 ± 0.000 Ab	0.140 ± 0.000 Ab
۹۰	0.099 ± 0.009 Aa	0.099 ± 0.009 Aa	0.099 ± 0.009 Ba

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 تأثیر زمان نگهداری بر محتوای TVB-N بوده است.

میلی گرم/۱۰۰ گرم) بودند. برخلاف روز صفر که تیمارها در یک رنج عددی قرار داشتند، در پایان روز ۹۰ تیمار ۵/۰ درصد غنی شده با پودر پروتئین ماهی نسبت به سایر نمونه‌ها به صورت معنی داری کمتر بود ($P<0.05$).

مقادیر ترکیبات شیمیایی

مقادیر ترکیبات شیمیایی بیسکوئیت‌ها در نمونه شاهد و نمونه‌های غنی شده با پودر پروتئین ماهی در جدول شماره ۵ مشاهده می‌گردد.

مقدار TVB-N در تیمارهای شاهد، ۲/۵ و ۵/۰ درصد در روز صفر برابر با ۰/۱۴۰ میلی گرم در ۱۰۰ گرم و در پایان روز نود این مقدار به ترتیب به ۷/۳۵۰، ۷/۴۹۰ و ۵/۸۱۰ میلی گرم در ۱۰۰ گرم نمونه رسید. کمترین افزایش میزان بازهای نیتروژنی فرار در طی مدت ۹۰ روز نگهداری، در تیمار ۵ درصد و بیشترین افزایش در تیمار ۲/۵ درصد مشاهده شد. با توجه به معنی دار بودن داده‌ها طی مدت زمان نگهداری در دمای محیط ($P<0.05$)، تیمارهای شاهد و ۵/۰ درصد کنسانتره تا پایان مدت نگهداری در رنج استاندارد (بازهای نیتروژنی فرار = ۲۵

جدول ۵- میانگین ترکیبات تقریبی پودر پروتئین ماهی و بیسکوئیت شاهد و غنی شده با FPP (درصد)

ترکیب شیمیایی	پودر پروتئین ماهی	تیمار		
		شاهد	تیمار ۲/۵ درصد	تیمار ۵ درصد
پروتئین	۸۹/۳۹± ۱/۳۹	۶/۸۸± ۰/۰۱ ^c	۸/۱۸± ۰/۰۴ ^b	۹/۳۹± ۰/۱۲ ^a
چربی	۰/۰۱± ۰/۰۰	۱۴/۶۵± ۰/۰۴ ^a	۱۴/۲۹± ۰/۲۶ ^a	۱۴/۶۹± ۰/۳۱ ^a
رطوبت	۴/۴۵± ۰/۱۴	۴/۳۹± ۰/۴۳ ^a	۴/۵۷± ۰/۳۱ ^a	۴/۵۳± ۰/۲۸ ^a
خاکستر	۶/۲۵± ۰/۲۱	۱/۸۶± ۰/۰۲ ^a	۱/۸۹± ۰/۰۳ ^a	۱/۹۱± ۰/۰۵ ^a
کربوهیدرات	---	۷۲/۱۹± ۰/۰۱ ^a	۷۱/۰۵± ۰/۰۱ ^b	۶۹/۵۳± ۰/۰۱ ^c

داده‌های جدول شامل میانگین $\pm$ انحراف معیار است. ($n=3$)

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

ماهی گزارش گردیده است. نتایج حاصل از آنالیز مقادیر تقریبی بیسکوئیت شاهد و بیسکوئیت غنی شده با کنسانتره پروتئین ماهی در مطالعه Ibrahim (۲۰۰۹)، مقادیر رطوبت، پروتئین خام، چربی، خاکستر و کربوهیدرات در تیمار بیسکوئیت شور غنی شده با کنسانتره پروتئین ماهی در سطح ۵٪ به ترتیب ۱۷/۳۱، ۱۲/۵۰، ۲۲/۶۵، ۷/۲۸ و ۴۰/۲۶ به دست آمد، که در مقایسه با نتایج پژوهش حاضر، از میزان رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر بیش تر و مقدار کربوهیدرات کمتری برخوردار بوده است. در پژوهش Mohamed و همکاران (۲۰۱۴) نیز محتوای رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر در بیسکوئیت‌های غنی شده با کنسانتره پروتئین ماهی کپور به ترتیب ۹/۱۰، ۸۸/۷۰، ۰/۰۴ و ۲/۱۰ درصد به دست آمد. در مقایسه با مقادیر به دست آمده از آنالیز ترکیبات شیمیایی کنسانتره پروتئین حاصل از ماهی کپور معمولی، پودر پروتئین ماهی کپور نقره‌ای در پژوهش حاضر، دارای میزان رطوبت بالاتر و میزان خاکستر کمتری بوده است.

ارزیابی حسی بیسکوئیت‌ها

رضایت مصرف کننده و در واقع شاخص‌های حسی، همواره معیار مناسبی برای انتخاب فرمول برتر بین محصولات مشابه معرفی شده است. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های بیسکوئیت غنی سازی شده با پودر پروتئین ماهی و نمونه شاهد در جدول ۶ آورده شده‌اند.

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد، محتوای پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر بیسکوئیت شاهد به ترتیب ۶/۸۸، ۱۴/۶۵، ۴/۳۹ و ۱/۸۶ درصد بوده است که در محدوده ترکیبات شیمیایی بیسکوئیت‌های شیرین (Sweet biscuits) ذکر شده توسط Passos و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد. نتایج مشابهی از ترکیبات شیمیایی نمونه خام بیسکوئیت توسط Mohamed و همکاران (۲۰۱۴) گزارش گردیده است، هرچند محتوای کربوهیدرات‌ها در گزارش آن‌ها کم تر و در عوض محتوای پروتئین و چربی، اندکی بیش تر بوده است. که البته این تفاوت‌ها به طور قطع به مواد اولیه و شیوه مورد استفاده در تولید بیسکوئیت بستگی دارد. اختلاف در محتوای پروتئین نمونه‌های بیسکوئیت در نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی پودر پروتئین ماهی، قابل ملاحظه و معنی دار بوده است. محتوی پروتئین بیسکوئیت‌های تهیه شده با FPP بالاتر از تیمار شاهد بود، به طوری که میزان پروتئین در تیمار ۲/۵ و ۵ درصد FPP به ترتیب ۱/۳ و ۲/۵۱ درصد بیش از تیمار شاهد بود. درصد کربوهیدرات با افزایش سطح غنی سازی کاهش معنی داری یافته است ($P<0.05$). گزارش‌های مشابه از افزایش میزان پروتئین و کاهش مقدار کربوهیدرات توسط Ibrahim (۲۰۰۹) در غنی سازی بیسکوئیت شور با کنسانتره پروتئین ماهی، Mohamed و همکاران (۲۰۱۴) در غنی سازی بیسکوئیت با کنسانتره پروتئین ماهی، Cercel و همکاران (۲۰۱۶) در افزودن پروتئین ماهی به نان گندم و Desai و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه غنی سازی پاستا با پودر پروتئین

جدول ۶- نتایج ارزیابی حسی بیسکوئیت حاوی پودر پروتئین ماهی

شاخص حسی	تیمار شاهد	تیمار ۲/۵ درصد	تیمار ۵ درصد
رنگ	۷/۸۶±۰/۷۴ ^a	۷/۵۳±۰/۶۰ ^a	۷/۶۶±۰/۷۲ ^a
عطر	۸/۲۰±۰/۷۷ ^a	۷/۸۶±۰/۷۴ ^a	۷/۸۰±۰/۷۷ ^a
طعم و مزه	۸/۰۶±۰/۸۸ ^a	۷/۷۳±۰/۸۶ ^a	۷/۴۶±۰/۶۳ ^a
ظاهر	۸/۳۰±۰/۷۷ ^a	۸/۰۰±۰/۶۵ ^a	۸/۰۰±۰/۷۵ ^a
بافت	۷/۵۳±۰/۶۳ ^a	۷/۸۰±۰/۷۷ ^a	۷/۹۶±۰/۷۴ ^a
مقبولیت کلی	۷/۸۶±۰/۶۳ ^a	۷/۹۳±۰/۸۸ ^a	۷/۵۳±۰/۷۴ ^a

داده‌های جدول شامل میانگین ± انحراف معیار است.

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

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر و بررسی پروفایل اسید آمینه بیسکوئیت‌ها نشان داد که پروسه غنی‌سازی بیسکوئیت با پودر پروتئین ماهی موفقیت‌آمیز بوده است. پروفایل اسید آمینه نمونه‌های تیمار شده بهبود یافته و از نظر ارزش غذایی و مخصوصاً درصد پروتئین که مهمترین شاخص محصول می‌باشد، تیمارهای حاوی پودر پروتئین ماهی بهتر بودند. از نظر فاکتورهای فساد در طی مدت نگهداری تفاوت چندانی بین تیمار شاهد و تیمارهای غنی شده وجود نداشت به‌جز فاکتور TVB-N که مطابق با نتایج به‌دست آمده با افزایش غنی‌سازی در سطح ۵/۰ درصد میزان ازت فرار در محصول طی مدت زمان نگهداری کمتر از نمونه شاهد بوده و تفاوت معنی‌داری را با آن نشان داد. بر طبق نتایج به‌دست آمده غنی‌سازی بیسکوئیت با پودر پروتئین ماهی تأثیر منفی بر خصوصیات حسی محصول نداشته است، در مجموع با توجه به نتایج مثبت حاصل از افزودن پودر پروتئین ماهی بر کیفیت بیسکوئیت، با توجه به خصوصیت طعم و مزه و مقبولیت کلی، استفاده از FPP در سطح ۵ درصد برای غنی‌سازی بیسکوئیت پیشنهاد می‌گردد.

نتایج حاصل از ارزیابی حسی بیسکوئیت‌های 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 ($p>0.05$). مقایسه نتایج ارزیابی حسی بین بیسکوئیت غنی شده با پودر پروتئین ماهی و بیسکوئیت شاهد نشان داد شاخص‌های طعم و مزه، عطر و رنگ در نمونه‌های غنی شده کاهش اندکی نسبت به نمونه شاهد داشته است و نیز شاخص بافت در نمونه‌های غنی شده از نمره بالاتری برخوردار بود، اما با این حال بیسکوئیت غنی سازی شده در سطح ۲/۵ و ۵/۰ درصد در شاخص‌های ظاهر، رنگ، بافت، عطر، طعم و مزه و مقبولیت کلی با بیسکوئیت شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ($P>0.05$). نتایج حاصل از آنالیز ارزیابی حسی بیسکوئیت شاهد و بیسکوئیت غنی شده با کنسانتره پروتئین ماهی در سطح ۵/۰ درصد در طی تحقیقات Ibrahim (۲۰۰۹) نشان داد که بین تیمار شاهد و تیمارهای غنی شده در شاخص‌های طعم، عطر، رنگ و مقبولیت کلی تفاوت معنی‌داری وجود نداشته و تقریباً از نمره یکسانی برخوردار بودند که این نتایج مشابه نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌باشد.

منابع

- Abboud, A. M., Hoseney, R. C., Rubenthaler, G. L. 1985. Factors affecting cookie flour quality. *Cereal Chemistry*, 62: 130-33.
- Abd El Baky, H. H., El Baroty, G. S. and Ibrahim, E. A. 2015. Functional characteristics evaluation of biscuits sublimated with pure phycocyanin isolated from *Spirulina* and *Spirulina* biomass. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1): 231-241.
- Adeola, A and Ohizua, E. 2018. Physical, chemical, and sensory properties of biscuits prepared from flour blends of unripe cooking banana, pigeon pea, and sweet potato. *Food Science and Nutrition*, 6: 532-540.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17th. Association of Official Analytical Chemists, Procedure. Washington. DC, USA.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis (18th ed.). Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists International.
- Baltsavias, A. 1999. Properties of short-dough biscuits in relation to structure. *Journal of Cereal Science*, 29: 45-55.
- Cercel, F., Burluc, R. M. and Alexe, P. 2016. Nutritional effects of added proteins in wheat flour bread. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10: 244 – 249.
- Desai, A., Brennan, M. A. and Brennan, C. S. 2018. The effect of semolina replacement with protein powder from fish (*Pseudophycis bachus*) on the physicochemical characteristics of pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 89: 52–57.

- Fan, W., Chi, Y. and Zhang, S. 2008. The use of a tea polyphenol dips to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice. *Food Chemistry*, 108(1):148-153.
- Gandhi, A., Kotwaliwale, N., Kawalkar, J., Srivastava, D., Parihar, V. and Raghu Nadh, P. 2001. Effect of incorporation of defatted soy flour on the quality of sweet biscuits. *Journal of Food Science Technology*, 38: 502-503.
- Hooda, S. and Jood, S. 2005. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat biscuits supplemented with untreated and treated fenugreek flour. *Food Chemistry*, 90: 427-35.
- Hosseini, M., Adeli, A. and Vahedi, M. 2016. Investigating fish purchase and patterns and preferences among the consumers of Sari. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 25(3): 103-112.
- Ibrahim, S. M. 2009. Evaluation of production and quality of salt-biscuits supplemented with fish protein concentrate. *World Journal of Dairy and Food Sciences*, 4: 28-30.
- Kumar, P., Kumar Chatli, M., Mehta, N., Malav, O. P., Verma, A. K. and Kumar, D. 2016. Quality attributes and storage stability of chicken meat biscuits incorporated with wheat and oat bran. *Journal of Food Quality*, 39: 649-657.
- Kose, S., Karacam, H., Kutlu, S. and Boran, M. 2001. Investigating the shelf-life of the anchovy dish called Hamsikusu In frozen storage at $-18 \pm 1^\circ\text{C}$. *Turkish journal of Veterinary Animal Science*, 25: 651-656.
- Levin, Sh. and Grushka, E. 1985. Reversed-phase liquid chromatographic separation of amino acids with aqueous mobile phases containing copper ions and alkyl sulfonates. *Anal. Chemistry*, 57: 1830-1835.
- Mohamed, G. F., Sulieman, A. M., Soliman, N. G. and Bassiuny, S. S. 2014. Fortification of biscuits with fish protein concentrate. *World Journal of Dairy and Food Sciences*, 9: 242-249.
- Munaza, B., Prasad, S. G. M. and Gayas, B. 2012. Whey protein concentrates enriched biscuits. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2: 1-4.
- Ngo D. H., Wijesekara I, Vo, T. S., Van, Ta. Q. and Kim, S. K. 2011. Marine food-derived functional ingredients as potential antioxidants in the food industry, an overview. *Food Research International*, 44: 523-529.
- 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.
- Park, J., Choi, I. and Kim, Y. 2015. Cookies formulated from fresh okara using starch, soy flour and hydroxypropyl methylcellulose have high quality and nutritional value. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1): 660-666.
- Passos, M. E. A., Moreira, C. F. F., Pacheco, M. T. B., Takase, I., Lopes, M. L. M. and Valente-Mesquita, V. L. 2013. Proximate and mineral composition of industrialized biscuits. *Food Science and Technology*, 33(2): 323-331.
- Razavi-Shirazi, H. 2002. Seafood Technology: Processing Science, Naghsh-e Mehr Publication, Tehran, Iran [In Persian].
- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B. and Lugasi, A. 2008. Functional food, Product development, marketing and consumer acceptance-a review. *Appetite*, 51: 456-67.
- Shaviklo, A. R. 2015. Development of fish protein powder as an ingredient for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2): 648-661.
- Sathivel, S., Bechtel, P. J., Babbitt, J. K., Prinyawiwatkoool, W. and Patterson, M. 2005. Functional, nutritional and rheological properties of protein powders from arrowtooth flounder and their application in mayonnaise. *Journal of Food Science*, 2: 57-63.
- Sudha, M., Vetrimani, R. and Leelavathi, K. 2007. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100: 1365-1370.
- Venugopal, V. 2006. Seafood processing adding value through quick freezing, retortable packaging, and cook-chilling. *Taylor & Francis Group, CRC, Boca Raton*, pp 425-447.
- Wrigley, C. 2004. Encyclopedia Grain Science, Elsevier Academic Press, Oxford, vol. 1 Cereals, pp 187-201.
- Yeh, L. L., Kim, K. O., Chompreeda, P., Rimkeeree, H., Yau, N. J. N. and Lundahl, D. S. 1998. Comparison in use of the 9- point hedonic scale between Americans, Chinese, Koreans and 1ai. *Food Quality and Preference*, 9(6): 413-419.



The effect of enrichment with silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) protein powder on amino acid profile, proximate analysis and sensory characteristic of biscuit

E. Aminpour Daphchahi¹, E. Zakipour Rahimabadi^{2*}, H. Rostamzad³, E. Nejat Pirsarai¹

Received: 2020.07.09

Accepted: 2020.10.07

Introduction: The relation between food and health has had an increasing impact on food innovation, due to the popularity of the concept of functional food. Most bakeries products can easily be enriched and fortified with proteins, vitamins and minerals to meet specific needs of the target groups of the population. Biscuits are the most popular bakery products worldwide. Biscuits are ready to eat, cheap and conventional food. Protein fortification of biscuits is of current interest, because of increasing awareness of consumers towards health. Fish protein products such as FPP are low cost animal protein with high quality, so it can be used as a protein supplement to increase nutritive value of foods. This research was aimed to evaluate the quality and sensory properties of biscuits enriched with fish protein powder (FFP).

Materials and methods: For this purpose, Fish protein power (FPP) of silver carp was used in production of biscuits by replacing it with wheat flour by 0 % (as control treatment), 2.5% (treatment 1) and 5% (treatment 2). Amino acid profile, PV, TBA, chemical composition and sensory analysis was done during 3 months storage at room temperature.

Results and discussion: Seventeen kinds of amino acids were identified in fish protein powder of silver carp. The total content of amino acids fish protein powder were 975.19 mg/100 gr. Total essential and non-essential amino acids in control treatment were 36.50 mg/100 gr, that after using fish protein powder in enrichment of biscuits at the level of 2.5 and 5% increased to 50.91 and 67.37 mg/100 gr, respectively. Evaluation of sensory characteristics of biscuits samples did not showed a significant difference between control and enriched treatments ($P>0.05$).

Key words: Biscuit, Enrichment, Nutritional quality, Amino acid profile, Fish protein powder.

1. M.Sc. Student, Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara,
2. Associate Professor. Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara.
3. Assistant Professor. Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara.
(*Corresponding Author Email: e.zakipoor@guilan.ac.ir)

مقاله پژوهشی

ارزیابی تاثیر استفاده توأم از تخمیر کنترل شده جو دوسر و پودر عناب بر بافت و فعالیت آنتی اکسیدانی نان گندم حجیم تولیدی

فهمیه حاجی نیا^۱ - علیرضا صادقی^{۲*} - علیرضا صادقی ماهونک^۳ - مرتضی خمیری^۳ - یحیی مقصودلو^۳ - علی مؤیدی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶

چکیده

در سال‌های اخیر، اهمیت غنی‌سازی نان گندم با بسترهای تخمیری و منابع گیاهی، بیشتر مشخص گردیده است. در این پژوهش، تأثیر استفاده توأم از جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب بر بافت و فعالیت آنتی اکسیدانی نان گندم تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، سفتی بافت، تخلخل، حجم مخصوص، پذیرش کلی و فعالیت آنتی اکسیدانی در نان‌های گندم حاوی جو دوسر تخمیر شده، پودر عناب و مخلوط آن‌ها در مقایسه با نمونه شاهد ارزیابی شد. میزان تخلخل در تمام نان‌های تولیدی به شکل معنی‌داری ($p < 0.05$) بیشتر از نمونه شاهد بود. با افزودن جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب، تغییری در میزان پذیرش کلی نان‌های تولیدی مشاهده نگردید و نمونه‌های تولیدی از این نظر تفاوت معنی‌داری نداشتند. نان حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده + پودر عناب دارای بیشترین میزان سفتی بافت و کمترین مقدار حجم مخصوص بود. قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH نیز در تمام نمونه‌ها به شکل معنی‌داری از نمونه شاهد بیشتر بود و نان گندم حاوی جو دوسر تخمیر شده + پودر عناب با ۹۰/۵۲ درصد بالاترین میزان قابلیت بازدارندگی را به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از فرمولاسیون بهینه حاوی جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب جهت تولید نان‌های غنی شده می‌تواند نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تخمیر کنترل شده جو دوسر، پودر عناب، فعالیت آنتی اکسیدانی، نان گندم غنی شده.

مقدمه

و میزان خمیرترش مورد استفاده، شدت اثر آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gobbetti et al., 2014).

جو دوسر، حاوی مقادیر زیادی مواد مغذی با ارزش مانند فیبرهای محلول، اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب غیر اشباع، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات فیتوشیمیایی است (Flander et al., 2008). اثرات سلامتی بخش جو دوسر به‌طور عمده به بتاگلوکان نسبت داده می‌شود که توانایی کاهش کلسترول خون و جذب گلوکز از روده را دارد. همچنین جو دوسر به‌عنوان یک منبع بالقوه از ترکیبات ویژه آنتی اکسیدانی محسوب می‌شود. آنتی اکسیدان‌های جو دوسر شامل ویتامین E (توکوفرول‌ها)، اسیدهای فنولیک، فلاوونوئیدها و استرول‌ها می‌باشند (Peterson, 2001). عناب نیز منبع غنی از پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و سایر ترکیبات فعال است. عناب تازه و خشک، سرشار از فیبر، مواد معدنی، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آلی و ترکیبات فرار بوده که مولد عطر و طعم دلپذیری هستند. همچنین میوه عناب به‌عنوان منبع مناسبی از اسیدهای فنولیک، کاروتنوئیدها،

نان، اصلی‌ترین منبع غذایی و فراورده ارزانی در رژیم غذایی روزانه مردم در بسیاری از نقاط جهان به‌شمار می‌رود. این محصول حاوی کربوهیدرات، پروتئین، فیبر و ریزمغذی‌ها می‌باشد. از مهمترین روش‌های بهبود کیفیت نان می‌توان به تخمیر غلات و استفاده از منابع گیاهی اشاره کرد (Mildner-Szkudlarz et al., 2011). استفاده از خمیرترش در فرآوری نان، قدمتی دیرینه دارد. خمیرترش به سیستم بیولوژیکی پیچیده حاصل از تخمیر آرد غلات یا اجزاء آن با آب گفته می‌شود که اساس تشکیل آن همزیستی بین باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمرهایی است که مسئول ور آوردن و اسیدی کردن خمیر می‌باشند (Bastetti, 2001). در مطالعات متعددی نشان داده شده که تخمیر خمیرترش می‌تواند بدون اثرات نامطلوب، منجر به بهبود بافت، عطر و طعم نان تولیدی شود (Katina et al., 2005). بنابراین، استفاده از تخمیر خمیرترشی می‌تواند راهکار مناسب و جامعی برای تهیه نان با کیفیت فناوری و تغذیه‌ای از آرد غلات محسوب گردد. در این بین، نوع

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

ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین C، فلاونوئیدها و سربروزیدها مطرح می‌باشد (Li et al., 2007).

با توجه به اثرات نامطلوب افزودنی‌ها و بهبود دهنده‌های شیمیایی، اهمیت ارائه جایگزین‌های طبیعی نظیر بسترهای تخمیری و منابع گیاهی در فرآوری نان کاملاً ملموس می‌باشد. بهترین جایگزین‌ها بدین منظور، شامل خمیرترش و منابع گیاهی غنی از فیبر و ریزمغذی‌ها هستند. Banu و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی قابلیت استفاده از آنزیم زایلاناز و تخمیر خمیرترش بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر، خواص آنتی‌اکسیدانی و کیفیت نان گندم حاوی سبوس جو دوسر پرداختند. این محققین دریافتند که استفاده از این آنزیم و افزودن خمیرترش به دلیل تغییر نسبت بین فیبر محلول و نامحلول، سبب افزایش حجم مخصوص، سفتی بافت و مقدار فنول تام در نان می‌شود. نتایج پژوهش Hüttner و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داد که خمیرترش جو دوسر، صرف نظر از سطح یا نوع خمیرترش مصرفی سبب افزایش حجم مخصوص و بهبود بافت نان جو دوسر شده و لذا کیفیت نهایی نان تولیدی را افزایش می‌دهد. Verardo و همکاران (۲۰۱۸) با افزودن مقادیر مختلف باکویت به نان گندم به بررسی میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان‌های تولیدی پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که به تناسب افزایش میزان باکویت در نان‌های تولیدی، میزان ترکیبات فنولی نیز افزایش یافت. علاوه بر این، نان‌های غنی شده در مقایسه با نمونه شاهد دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بهتری بودند. Irakli و همکاران (۲۰۱۹) به منظور تهیه نان گندم غنی شده از آرد سبوس برنج و تخمیر تصادفی خمیرترش در فرمولاسیون نان استفاده نمودند. سپس خصوصیات پخت، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و زیست دسترسی به ترکیبات فنولی در نان‌های تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفت. این محققین دریافتند که استفاده از تخمیر خمیرترش همراه با آرد سبوس برنج باعث افزایش حجم و امتیاز ارزیابی حسی نان تولیدی گردید. همچنین نان‌های غنی شده در مقایسه با نمونه شاهد، دارای محتوای فنولی بالاتر و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پایین‌تری بودند.

امروزه به جز بسترهای تخمیری، غنی‌سازی نان با منابع گیاهی نیز حائز اهمیت می‌باشد. میوه‌ها به دلیل دارا بودن ترکیبات زیستی‌فعال نظیر پلی‌فنول‌ها و کاروتنوئیدها از ارزش غذایی بالایی برخوردار هستند. بنابراین با افزودن این ترکیبات به نان می‌توان ترکیبات فنولی تام و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان‌های تولیدی را افزایش داد (Betoret and Rosell., 2020; Mildner-Szkudlarz et al., 2011).

Bae و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مقادیر مختلف عصاره عنب، نان گندم حاوی عصاره عنب تولید کردند. این محققین خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی نان‌های تولیدی را مورد مطالعه قرار داده و گزارش دادند که افزودن عنب باعث بهبود کیفیت نان گردید. Dhen و

همکاران (۲۰۱۸) خواص فیزیکی‌وشیمیایی و حسی نان گندم حاوی مقادیر مختلف آرد هسته زردآلو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تا ۸ درصد جایگزینی آرد گندم با آرد هسته زردآلو، روش مؤثری برای غنی‌سازی نان گندم، بدون تغییر در خواص فیزیکی و بافتی مطلوب آن بود. این جایگزینی در سطح بالاتر از ۱۲ درصد، منجر به کاهش حجم نان، رنگ قهوه‌ای پر رنگ، بافت سخت و طعم نامطلوب در نان‌های تولیدی گردید. Saadoudi و همکاران (۲۰۱۷) نسبت‌های مختلف آرد گندم و عنب را با یکدیگر مخلوط کرده و از آن در فرمولاسیون بیسکویت استفاده نمودند. نتیجه آزمون ارزیابی حسی نشان داد که تمام نمونه‌های تولیدی از نظر پذیرش کلی مورد قبول واقع شدند اما نمونه دارای ۱۰۰ درصد آرد گندم و نمونه حاوی ۵۰ درصد گندم و ۵۰ درصد عنب، بیشتر مورد توجه قرار گرفت. همچنین مشخص شد که استفاده از مقادیر بیشتر از ۵۰ درصد آرد عنب، موجب کاهش پذیرش کلی نمونه‌های تولیدی گردید. Karrar و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از سطوح مختلف خمیرترش سورگوم با مخلوطی از لاکتوباسیلوس پلاتناروم^۱ و لاکتوباسیلوس برویس^۲ و افزودن سطوح مختلف از پودر میوه کنار، نان تولید کردند. سپس خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی و حسی نان‌های تولیدی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش، حاکی از آن بود که با افزایش مقدار خمیرترش سورگوم، حجم مخصوص نان‌های تولیدی کاهش و سفتی بافت آن‌ها افزایش یافت. همچنین افزودن پودر کنار به نان، سبب افزایش ظرفیت نگهداری گاز و متعاقباً افزایش حجم مخصوص نان تولیدی گردید. نتایج آزمون ارزیابی حسی نیز نشان داد که تمام نان‌های تولیدی، توسط ارزیابان مورد قبول قرار گرفتند. صادقی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نان حاوی خمیرترش سبوس برنج و پوره کدو سبز تولید نمودند. نتایج این محققین، حاکی از بهبود خصوصیات فناوری-عملکردی نان تولیدی نظیر سفتی بافت، پذیرش کلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن بود. همچنین Mildner-Szkudlarz و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تخمیر کنترل شده چاودار و فرآورده‌های جانبی انگور، نان تولید کردند. محققین مذکور دریافتند که افزودن فیبر گیاهی مذکور سبب افزایش سفتی بافت نان و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید. بر اساس بررسی منابع صورت گرفته تاکنون گزارشی در خصوص استفاده توأم از خمیرترش جو دوسر و پودر عنب در فرآوری نان گندم ارائه نشده است. لذا هدف از این مطالعه، ارزیابی تأثیر استفاده توأم از جو دوسر تخمیر شده و پودر عنب بر بافت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان گندم تولیدی بود.

مواد و روش‌ها

پودر عنب نسبت به وزن آرد، قبل از تخمیر نهایی به خمیر مشابه نمونه شاهد، افزوده گردید. برای تهیه نان حاوی جو دوسر تخمیر شده+ پودر عنب نیز مخلوط جو دوسر تخمیر شده و پودر عنب، مشابه موارد قبلی به فرمولاسیون خمیر نمونه شاهد، افزوده شد. سپس نان‌های مذکور تحت شرایط یکسان تخمیر و پخت، فرآوری گردیدند. لازم به ذکر است که بر اساس نتایج پیش‌تیمارهای اعمال شده، مقادیر انتخابی سوبستراهای مورد استفاده در فرآوری نان‌های تولیدی منجر به تولید با کیفیت‌ترین نمونه‌ها گردید. لذا در این پژوهش نیز به‌عنوان مقادیر بهینه سوبسترا مورد استفاده قرار گرفت.

سفتی بافت نان‌های تولیدی

برای بررسی میزان سفتی بافت مغز نان‌های تولیدی، پس از گذشت دو ساعت از پخت نان از آزمون بافت‌سنجی استفاده گردید. بدین منظور از دستگاه بافت‌سنج (TAXT, Plus Stable Micro Systems, England) برای انجام آزمون نفوذ در نمونه‌ها با پروب استوانه‌ای به قطر ۱/۲۷ سانتی‌متر، سرعت پروب یک میلی‌متر در ثانیه و نقطه شروع ۵۰ گرم استفاده شد. نیروی لازم جهت ایجاد ۵۰ درصد فشردگی در ضخامت اولیه با رسم منحنی نیرو-فاصله به‌عنوان سفتی بافت مغز نان اندازه‌گیری شد (Katina et al., 2006).

میزان تخلخل مغز نان

بدین منظور از روش پردازش تصاویر اسکن شده نان تولیدی به کمک نرم‌افزار Image J (نسخه 1.42e) و با محاسبه نسبت نقاط روشن به نقاط تاریک به‌عنوان شاخصی از میزان تخلخل نان استفاده گردید (Chiavaro et al., 2008).

حجم مخصوص

حجم مخصوص نان‌های تولیدی به روش جابه‌جایی دانه کلزا بر اساس استاندارد A-A-20126E METRIC تعیین و با نمونه شاهد مقایسه گردید (Katina et al., 2006).

آزمون‌های بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی

تهیه عصاره متانولی

پنج گرم از هر نمونه نان با ۵۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد، مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در ۴۶۰۰ g سانتریفوژ (Hanil, R1245, South Korea) گردید. سپس از روماند حاصل برای تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار ترکیبات فنولی تام در نمونه‌های تولیدی استفاده شد (Yu et al., 2003).

آرد جو دوسر مصرفی از آسیاب کردن دانه کامل جو دوسر (مخلوطی از چند واریته)، تهیه شد و سپس توسط الک با مش ۴۵ فرآوری گردید. آرد گندم مورد استفاده نیز از کارخانه آرد زاهدی گرگان تأمین شد. خصوصیات آردهای مذکور (چربی، پروتئین، خاکستر) بر اساس روش‌های مدون (AACC, 2010) تعیین گردید. برای تهیه پودر عنب، این میوه ابتدا هسته‌گیری و سپس با استفاده از آون (Binder, FD53, Germany) ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت تا رطوبت شش درصد خشک شده و در انتها توسط آسیاب (آسان توس شرق، ایران) به پودر تبدیل گردید. ویژگی‌های عنب مصرفی (پروتئین و کربوهیدرات کل) نیز بر اساس دستورالعمل‌های (AOAC 2003) مشخص شد.

تامین کشت آغازگر

کشت آغازگر (پدیوکوکوس پنتوز/اسئوس)^۱ مورد استفاده در این پژوهش از جدایه لاکتیکی غالب خمیرترش جو دوسر که قبلاً با توالی‌یابی محصولات PCR تأیید شناسایی شده بود تأمین گردید (حاجی‌نیا و همکاران، ۲۰۲۰).

فرآوری تخمیر کنترل شده جو دوسر

برای اعمال تخمیر کنترل شده جو دوسر، جدایه پدیوکوکوس پنتوز/اسئوس در محیط کشت MRS broth در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تا ایجاد 10^8 CFU/mL، کشت داده شد. سپس مخلوط آرد جو دوسر و آب با بازده خمیر ۲۰۰ (نسبت خمیر به آرد $100 \times$) تهیه شده و باکتری مذکور با جمعیت معادل 10^8 CFU/mL به آن افزوده شد. نهایتاً مخلوط مذکور در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تخمیر گردید (Huttner et al., 2010).

فرآوری نان

برای تهیه نان شاهد از مخلوط آرد گندم، آب و دو درصد وزنی از مخمر خشک فعال ساکارومایسس سرویزیه^۲ استفاده گردید. مرحله نخست تخمیر این مخلوط در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه و تخمیر نهایی آن پس از تقسیم کردن به قطعات ۱۵۰ گرمی در دمای ۴۲ درجه سلسیوس به مدت ۹۰ دقیقه صورت گرفت. سپس نمونه‌های تولیدی در دمای 180 ± 5 درجه سلسیوس و به مدت ۲۵ دقیقه در فر الکتریکی هوای داغ (Feller, Germany)، پخته شدند. برای تهیه نان حاوی جو دوسر تخمیر شده، نسبت ۲۵ درصد وزنی از جو دوسر تخمیر شده، قبل از تخمیر نهایی به خمیر مشابه نمونه شاهد افزوده شد. جهت آماده‌سازی نان حاوی پودر عنب نیز مقدار ۱۰ درصد

ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی با استفاده از روش مهار رادیکال آزاد DPPH^۱

به منظور ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی با استفاده از روش مهار رادیکال DPPH^۱ (که در طول موج ۵۱۷ نانومتر جذب قوی و رنگ ارغوانی ایجاد می کند) دو میلی لیتر از عصاره نمونه ها به دو میلی لیتر محلول اتانولی ۰/۱ میلی مولار DPPH^۱ افزوده شد. در ادامه با تعیین جذب نمونه ها و نمونه شاهد در ۵۱۷ نانومتر و استفاده از فرمول محاسباتی، درصد مهار رادیکال آزاد مشخص گردید (Shimada et al., 1992).

$$(۱) \quad \text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد} \times ۱۰۰ = \text{درصد مهار رادیکال آزاد DPPH}$$

تعیین مقدار ترکیبات فنولی تام

برای تعیین مقدار ترکیبات فنولی تام، معرف فولین سیوکالته و کربنات سدیم به عصاره متانولی نمونه افزوده شد و پس از قرارگیری در تاریکی، جذب نمونه ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانش گردید. سپس با استفاده از معادله خط حاصل از نمونه استاندارد (اسید گالیک)، مقدار ترکیبات فنولی تعیین شد (Singleton and Rossi, 1965).

خصوصیات حسی نان

برای بررسی پذیرش کلی نان های تولیدی از آزمون چشایی دو ساعت پس از پخت بر اساس روش هدونیک پنج نقطه ای استفاده گردید. برای این منظور، ارزیابان آموزش دیده، خصوصیات نان های

تولیدی (شامل رنگ پوسته، عطر و طعم، قابلیت جویدن، شکل و خاصیت ارتجاعی) را بر مبنای مقیاس یک تا پنج (یک، کمترین و پنج، بیشترین امتیاز) ارزیابی کردند و سپس میانگین نظرات هر ارزیاب برای هر کدام از تیمارها تعیین و به عنوان پذیرش کلی به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار ارائه شد (Katina et al., 2006).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

نتایج حاصل از این پژوهش بر اساس طرح ساده کاملاً تصادفی در سه تکرار و با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۰) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی داری (LSD) در سطح $p < ۰/۰۵$ انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی های مواد اولیه

بر اساس نتایج آزمون های مرجع، آرد جو دوسر مورد استفاده در این پژوهش، دارای ۶/۶۳ درصد چربی، ۷/۷۸ درصد پروتئین و ۱/۲۵ درصد خاکستر بود. عنباب نیز حاوی ۱/۲ درصد پروتئین و ۳۰/۴ درصد کربوهیدرات کل بود. علاوه بر این، آرد گندم ستاره مورد استفاده با ۶۸ درصد استخراج حاوی ۱۰/۲ درصد پروتئین، ۰/۴۵ درصد خاکستر و ۱۴/۲ درصد رطوبت بود. مقایسه ویژگی های نان های گندم تولیدی حاوی مقادیر انتخابی جو دوسر تخمیر شده (۲۵ درصد)، پودر عنباب (۱۰ درصد) و مخلوط آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقایسه ویژگی های بافتی نان های تولیدی

نمونه	سفتی بافت (N)	تخلخل (%)	حجم مخصوص (Cm ³ /g)
شاهد	۴/۲۶ $\pm$ ۰/۰۱ ^c	۱۱/۷۳ $\pm$ ۰/۳۵ ^b	۳/۷ $\pm$ ۰/۱۴ ^a
جو دوسر تخمیر شده	۶/۱۷ $\pm$ ۰/۶۲ ^b	۱۶/۸۳ $\pm$ ۲/۳۱ ^a	۲/۶۱ $\pm$ ۰/۱۵ ^b
پودر عنباب	۶/۱۳ $\pm$ ۰/۶۵ ^b	۱۵/۳۰ $\pm$ ۰/۲۸ ^a	۲/۷۷ $\pm$ ۰/۱۷ ^b
جو دوسر تخمیر شده + پودر عنباب	۷/۸۷ $\pm$ ۰/۳۶ ^a	۱۵/۰۵ $\pm$ ۰/۳۵ ^a	۲/۱۴ $\pm$ ۰/۱۱ ^c

حروف متفاوت در هر ستون، نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح $p < ۰/۰۵$ هستند.

سفتی بافت

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود نان گندم حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده + پودر عنباب به شکل معنی داری ($p < ۰/۰۵$) از سفتی بافت بیشتری نسبت به سایر نمونه ها برخوردار بود. همچنین بین نمونه حاوی پودر عنباب (به تنهایی) و نمونه حاوی جو دوسر تخمیر شده، تفاوت معنی داری مشاهده نشد و میزان سفتی بافت نمونه شاهد به شکل معنی داری از سایر نمونه ها کمتر بود.

Banu و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که استفاده از سیوس جو دوسر در نان گندم باعث افزایش سفتی نان تولیدی شد که دلیل آن را به حضور سیوس جو دوسر نسبت دادند. همچنین Rozylo و همکاران (۲۰۱۴) نیز ادعان داشتند که با افزایش مقدار جو دوسر در نان تولیدی، میزان سفتی بافت آن افزایش یافت و دلیل آن را به محتوای فیبر آرد مصرفی مرتبط دانستند. Karrar و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که افزودن خمیر ترش سورگوم به نان، سبب افزایش میزان سفتی بافت

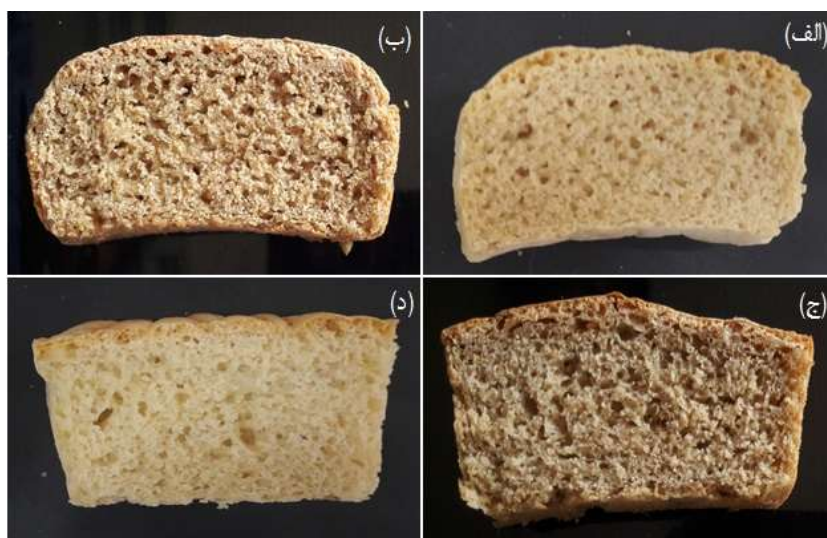
هتروفرومنتاتیو یا اثر متقابل مخمر و باکتری اسید لاکتیک و همچنین پایداری حباب گاز تولید شده توسط سایر متابولیت‌های میکروبی نظیر اگزوپلی‌ساکاریدها از عوامل مؤثر بر افزایش تخلخل می‌باشند (Arendt *et al.*, 2007). Bartkiene و همکاران (۲۰۱۷) نیز میزان تخلخل در نان‌های چاودار حاوی چهار سطح مختلف (۵ تا ۲۰ درصد) از خمیرترش‌های جو و جو دوسر را مورد بررسی قرار دادند. این محققین، گزارش نمودند که استفاده از خمیرترش در تولید نان چاودار سبب کاهش تخلخل گردید. تولید متابولیت‌هایی نظیر اسیدهای آلی در نان فرآوری شده با خمیرترش، سبب افزایش تخلخل، تغییر در فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و افزایش نرمی بافت نان می‌گردد. استفاده از دمای بالاتر تخمیر، افزودن مقدار آب بیشتر در خمیرترش و استفاده از آرد کامل می‌تواند تولید اسید را در حین تخمیر خمیرترش افزایش دهد و با تولید اسید، میزان تخلخل نیز افزایش یابد (Katina *et al.*, 2006). Dachana و همکاران (۲۰۱۰) طی مطالعات خود گزارش کردند که افزودن ترکیباتی نظیر سیوس و فیبر، سبب افزایش سفتی خمیر گشته و صمغی شدن را کاهش می‌دهد که کاهش حالت صمغی شدن در افزایش تخلخل تاثیر دارد. تخمیر باعث متعادل کردن میزان فیبرهای محلول و نامحلول می‌شود. در طی این فرایند میزان آرایینوگریلان‌ها افزایش می‌یابد (Flander *et al.*, 2008). آرایینوگریلان‌ها به‌عنوان یکی از منابع فیبری موجود در جو دوسر و گندم به‌وسیله افزایش ویسکوزیته در فاز آبی خمیر باعث تثبیت سلول‌های گازی و متعاقبا افزایش تخلخل محصول می‌گردند (Courtin and Delcour, 2002). با رقیق شدن گلوتن، ظرفیت نگهداری آب در خمیر و تعامل بین فیبر و پروتئین‌های غیر گلوتن افزایش پیدا می‌کند. همچنین افزایش تخلخل به افزایش قابلیت توسعه و تضعیف شبکه گلوتن نسبت داده می‌شود که باعث افزایش تعداد و توزیع مناسب سلول‌های گازی و نهایتا بهبود تخلخل نان می‌شود (Sabanis *et al.*, 2009). نتایج پژوهش Lee و Kim (۲۰۱۲) نشان داد که افزودن مقادیر مختلف پودر عنباب به فراورده‌های آردی سبب افزایش تخلخل نمونه تولیدی گردید. این محققین دلیل این پدیده را به کاهش pH در اثر افزودن پودر عنباب، نسبت دادند. همچنین افزایش میزان تخلخل را می‌توان به تغییر ترکیبات خمیر (رقیق شدن گلوتن) و در نتیجه افزایش قدرت انبساط و نگهداری گاز در خمیر نسبت داد که منجر به افزایش تعداد حفرات تشکیل شده در بافت محصول تولیدی و تخلخل بیشتر آن می‌گردد (وطن دوست و همکاران، ۲۰۱۵). صادقی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که استفاده توأم از خمیرترش سیوس برنج و پوره کدو سبز باعث افزایش تخلخل نان‌های تولیدی گردید که با نتایج پژوهش حاضر همسو بود. دلیل افزایش تخلخل در نان‌های تولیدی را می‌توان به افزایش مقدار فیبر نسبت داد که سبب ثبات بهتر حباب‌های گاز در حین پخت می‌شود (Rozylo *et al.*, 2014).

محصول تولیدی گردید. در طی تخمیر خمیرترش، باکتری‌های اسید لاکتیک با تولید برخی متابولیت‌ها نظیر اسیدهای آلی، اگزوپلی‌ساکاریدها و یا آنزیم‌ها بر ساختار پروتئین و نشاسته آرد تاثیر می‌گذارند (Arendt *et al.*, 2007). اگرچه استفاده از خمیرترش عمدتا سبب کاهش سفتی بافت می‌گردد اما اثرات سوبسترای مصرفی نیز در این امر، حایز اهمیت است. در پژوهش حاضر، احتمالا اثر محتوای فیبر جو دوسر بر بافت نان بیشتر از اثرات تخمیر خمیرترشی بوده و برآیند آنها سفتی بافت نان تولیدی را در پی داشته است. نتایج پژوهش Purabdollah و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که با افزودن بلوط تخمیر شده به نان گندم، سفتی بافت نان تولیدی افزایش یافت. این محققین گزارش کردند در نان‌های حاوی بلوط به سبب حضور فیبر، سیستم موبینه‌ای ایجاد می‌شود که منجر به انتقال آب از مغز نان و متعاقبا افزایش دانسیته و سفتی بافت نان به‌واسطه کاهش حجم مخصوص آن می‌گردد.

طبق گزارش Bae و همکاران (۲۰۰۵) با افزودن عصاره عنباب به نان سفید، سفتی بافت نان‌های تولیدی افزایش یافت. وطن‌دوست و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش نمودند که افزودن مقادیر بیش از ۱۰ درصد آرد سنجد به جای آرد گندم، منجر به افزایش سفتی نان‌های تولیدی گردید. این محققین، علت پدیده مذکور را به کاهش حجم و همچنین ضخیم شدن دیواره‌های اطراف حبابچه‌های هوای موجود در مغز نان نسبت دادند. Mildner-Szkudlarz و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که استفاده توأم از تخمیر کنترل شده چاودار و فراورده‌های جانبی انگور سبب افزایش سفتی بافت نان تولیدی گردید. این محققین، دلیل احتمالی پدیده مذکور را جذب بیشتر آب توسط فیبرهای موجود در خمیر و خارج کردن آب از دسترس اجزای آرد (گلوتن و نشاسته) دانستند. بر این اساس، در اثر ایجاد پیوندهای هیدروژنی بیشتر بین گروه‌های هیدروکسیل پلی‌ساکاریدها با آب، آزادی عمل آب به‌عنوان نرم‌کننده بافت کاهش می‌یابد. علاوه بر این، میزان سفتی بافت متفاوت در نان‌های حاوی ترکیبات فنولی می‌تواند تحت تاثیر فعالیت آنزیمی و فعالیت مخمری قرار گیرد (Wang *et al.*, 2007). Turchetti و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که کاتچین‌ها قادر به مهار فعالیت مخمر بوده و باعث ایجاد قابلیت تولید گاز ضعیف‌تری می‌شوند.

میزان تخلخل

با توجه به جدول ۱ میزان تخلخل در نمونه شاهد به شکل معنی‌داری ($p < 0.05$) از سایر نمونه‌ها کمتر بود (شکل ۱) و بین میزان تخلخل سایر نمونه‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. عمدتا تخمیر خمیرترشی سبب افزایش تخلخل نان تولیدی در اثر تخمیر می‌شود. افزایش تولید گاز توسط کشت‌های لاکتیکی



شکل ۱- تخلخل مغز نان‌های گندم حاوی جو دوسر تخمیر شده (الف)، مخلوط جو دوسر تخمیر شده و پودر عنب (ب) و پودر عنب به تنهایی (ج) در مقایسه با نمونه شاهد (د).

حجم مخصوص

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است نمونه شاهد به شکل معنی‌داری ($p < 0.05$) نسبت به سایر نمونه‌ها دارای حجم مخصوص بیشتری بود. بین نمونه حاوی پودر عنب (به تنهایی) و نمونه حاوی جو دوسر تخمیر شده، تفاوت معنی‌داری به لحاظ حجم مخصوص مشاهده نشد و نمونه حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده + پودر عنب، کمترین میزان حجم مخصوص را دارا بود.

نتایج پژوهش Karrar و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که افزودن خمیرترش سورگوم سبب کاهش میزان حجم مخصوص در نان تولیدی گردید. Rieder و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که استفاده از خمیرترش باعث کاهش حجم مخصوص در نان گندم غنی شده با جو و جو دوسر گردید. همچنین Rozylo و همکاران (۲۰۱۴) گزارش نمودند که استفاده از جو دوسر در نان گندم تولیدی منجر به کاهش حجم محصول تولیدی شد. نتایج محققین دیگر نیز حاکی از کاهش حجم نان در اثر جایگزینی گندم با آرد جو دوسر بود. این پدیده، تحت تأثیر خواص رئولوژیکی خمیر قرار می‌گیرد که به دلیل حضور ترکیباتی مانند پروتئین‌های غیرگلوتن می‌باشد (Mariotti et al. 2006). حجم مخصوص نان خمیرترشی تحت تأثیر مستقیم pH بر ساختار خمیر، اثر اسید بر آنزیم‌های غلات و همچنین تولید دی‌اکسید کربن توسط باکتری‌های اسید لاکتیک هتروفرمنتاتیو قرار می‌گیرد (Clarke et al., 2004). کاهش حجم مخصوص در نان گندم خمیرترشی به کاهش ظرفیت گلوتن برای حفظ دی‌اکسید کربن ارتباط دارد (Gobbetti et al., 2014).

سیروس و همکاران (۲۰۱۸) نیز با تهیه نان گندم با استفاده از مقادیر مختلف عصاره عنب و بررسی نان‌های تولیدی گزارش کردند

که حجم مخصوص نان‌های تولیدی با افزایش میزان عصاره عنب، کاهش یافت. Mildner-Szkudlarz و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که استفاده توأم از تخمیر کنترل شده چاودار و فراورده‌های جانبی انگور باعث کاهش حجم نان‌های تولیدی در مقایسه با نمونه شاهد گردید. میزان بخار آب تولید شده و دی‌اکسید کربن و همچنین میزان تغییرات آن در طی پخت بر حجم خمیر موثر است. به علاوه، عوامل نگهدارنده آب و افزودنی‌های شرکت‌کننده در فرایند پخت نیز تعیین‌کننده میزان افزایش حجم نان هستند. بر همین اساس با جایگزینی پودر عنب در تولید نان، مقدار گلوتن کاهش یافته و در نتیجه توسعه شبکه گلوتنی مختل شده و قدرت نگهداری گاز در خمیر کاهش یافت (وطن دوست و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این، رقابت فیبرهای موجود در پودر عنب با اجزای آرد در جذب آب باعث می‌شود شبکه گلوتنی به‌خوبی و به میزان کافی آب جذب نکند لذا توسعه شبکه گلوتن، مختل شده و حجم نان نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌یابد (Kim and Lee, 2012).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان‌های تولیدی

نتایج حاصل از مقایسه قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH و محتوای ترکیبات فنولی تام در نان‌های تولیدی در جدول ۲ نشان داده شده است.

بررسی قابلیت مهار رادیکال DPPH

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH در نمونه حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده + پودر عنب و نمونه حاوی پودر عنب (به تنهایی) به شکل معنی‌داری ($p < 0.05$) از

نسبت بین پروتئین‌های مختلف (طبقه‌بندی از نظر حلالیت)، ترکیب و توالی اسیدهای آمینه و جرم مولکولی منحصر به فرد پلی‌پپتیدها منجر به تفاوت آن‌ها می‌شود. علاوه بر این، ویژگی‌های فناوری، ساختاری، تغذیه‌ای و عملکردی نیز در این آردها متفاوت بوده و لذا تفاوت در خواص عملکردی پپتیدهای حاصل از غلات مختلف را به دنبال دارد (Madhujith and Shahidi, 2006). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی خمیر ترش به فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌های آن نیز مرتبط است. در طی تخمیر، مقدار ترکیبات فنولی یا فلاونوئیدها افزایش یافته و همچنین تخمیر سبب سنتز یا آزادسازی ترکیبات مختلفی می‌گردد که دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند (Hur et al., 2014). Kim و Lee (۲۰۱۲) با افزودن مقادیر مختلف پودر عناب به فراورده‌های پخت و بررسی قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH دریافتند که با افزایش مقادیر پودر عناب در نمونه‌های تولیدی، قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH افزایش یافت. Mildner-Szkudlarz و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که افزودن فراورده‌های جانبی انگور به نان خمیرترشی باعث افزایش قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH در نان‌های تولیدی گردید که دلیل آن را به حضور ترکیبات فنولی نظیر کاتچین‌ها و پروسیانیدین‌ها نسبت دادند که دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی می‌باشند.

سایر نمونه‌ها بیشتر بود. کمترین میزان این قابلیت نیز در نمونه شاهد مشاهده گردید. Đorđević و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که جو و چاودار، دارای قابلیت بالایی در مهار رادیکال آزاد DPPH بودند. همچنین Madhujith و Shahidi (۲۰۰۶) اظهار نمودند که جو، حاوی مقادیر قابل توجهی آنتی‌اکسیدان‌های فنولی است که به‌طور مؤثری باعث مهار رادیکال‌های آزاد به‌ویژه رادیکال‌های DPPH، پروکسیل و هیدروکسیل می‌شوند. نتایج پژوهش Brindzova و همکاران (۲۰۰۹) حاکی از آن بود که در نان گندم غنی شده با مخلوط جو دوسر و باکویت، قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH افزایش یافت. Coda و همکاران (۲۰۱۱) نیز با بررسی قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH در خمیرترش‌های مختلف دریافتند که بیشترین میزان قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH در خمیرترش حاصل از آرد کامل گندم با ۴۸ درصد و پس از آن در خمیرترش‌های کاموت (۳۹ درصد)، ارزن (۳۷/۳ درصد) و چاودار (۳۵/۴ درصد) وجود داشت. مطالعه مذکور نشان داد که باکتری‌های اسید لاکتیک منتخب از توانایی سنتز پپتیدهای آنتی‌اکسیدانی در طی تخمیر خمیرترش آردهای مختلف غلات برخوردارند. بسیاری از انواع غلات به لحاظ تکامل، گونه‌های نزدیک به یکدیگر هستند اما عوامل متعددی مانند سطح بالای پلی‌مورفسم،

جدول ۲- مقایسه قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH و محتوای ترکیبات فنولی تام در نان‌های تولیدی

نمونه	قابلیت مهار رادیکال DPPH (%)	ترکیبات فنولی تام (میلی گرم معادل گالیک اسید به ازای هر صد گرم عصاره)
شاهد	۱۹/۴۱ ± ۲/۱۴ ^c	۲/۵۷ ± ۰/۴۶ ^c
جو دوسر تخمیر شده	۶۹/۸۹ ± ۳/۴۷ ^b	۳/۷۲ ± ۰/۳۰ ^{bc}
پودر عناب	۹۰/۰۳ ± ۰/۴۶ ^a	۴/۴۵ ± ۰/۴۳ ^b
جو دوسر تخمیر شده + پودر عناب	۹۰/۵۲ ± ۰/۲۳ ^a	۱۰/۰۱ ± ۰/۹۶ ^a

حروف متفاوت در هر ستون، مبین تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) هستند.

ارزیابی مقدار ترکیبات فنولی تام

مقایسه مقدار فنول تام در نان‌های تولیدی نشان داد که میزان ترکیبات فنولی تام در نان حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده + پودر عناب نسبت به سایر نمونه‌ها به شکل معنی‌داری ($p < 0.05$) بیشتر بود. همچنین کمترین میزان ترکیبات فنولی تام مربوط به نمونه شاهد بود اما نمونه مذکور با نمونه حاوی جو دوسر تخمیر شده، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

Đorđević و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر تخمیر بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی برخی غلات و شبه غلات را مورد بررسی قرار دادند. این محققین از مقایسه میزان ترکیبات فنولی بین نمونه‌های تخمیر شده و تخمیر نشده دریافتند که تخمیر به شکل معنی‌داری باعث افزایش میزان ترکیبات فنولی در نمونه‌های مورد مطالعه شد. این میزان در جو تخمیر

نشده ۱۶/۴ (میلی گرم معادل گالیک اسید به ازای هر گرم عصاره) و در نمونه تخمیر شده با باکتری اسید لاکتیک ۲۰/۱ (میلی گرم معادل گالیک اسید به ازای هر گرم عصاره) گزارش گردید. Liukkonen و همکاران (۲۰۰۳) نیز با بررسی سطح ترکیبات فنولی در نان خمیرترشی چاودار دریافتند که قابلیت آنتی‌اکسیدانی نان‌های حاوی خمیرترش چاودار بیشتر از نان‌های گندم سفید بود و تخمیر خمیرترش سبب افزایش سطح ترکیبات فنولی قابل استخراج گردید. Peng و همکاران (۲۰۱۰) طی پژوهشی گزارش کردند که افزودن عصاره هسته انگور به نان گندم، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان تولیدی گردید. Balestra و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که در نان‌های گندم تولیدی حاوی پودر زنجبیل، نمونه حاوی بالاترین میزان زنجبیل، بیشترین مقدار فنول تام را دارا بود اما ویژگی‌های رئولوژی و حسی این

نمونه قابل قبول نبود. این محققین دریافتند که نان گندم حاوی سه درصد پودر زنجبیل دارای خصوصیات رئولوژی مناسب و فعالیت آنتی اکسیدانی به مراتب بیشتری نسبت به نمونه شاهد و بیشترین میزان پذیرش حسی بود.

سبزیجات، میوه‌ها و غلات کامل، سرشار از اجزاء فیتوشیمیایی نظیر ترکیبات فنولی هستند. افزودن ترکیبات فنولی در نان، علاوه بر بهبود خاصیت آنتی اکسیدانی به دلیل اثرات متقابل مختلف با ترکیبات آرد نظیر گلوتن و نشاسته بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خمیر و ویژگی‌های کیفی نان همچون حجم، بافت و ویژگی‌های حسی تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، ترکیبات فنولی ممکن است از ایجاد ترکیبات سرطان‌زا مانند آکریلامید هنگام پخت جلوگیری نموده و لذا به عنوان یک عامل ضدسرطان در سیستم‌های غذایی عمل کنند (Xu et al., 2019).

پذیرش کلی

مقایسه ویژگی‌های حسی بین نان‌های تولیدی نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) بین هیچ یک از نمونه‌ها به لحاظ رنگ پوسته، عطر و طعم و شکل وجود نداشت (جدول ۳). میزان قابلیت جویدن در نمونه شاهد به شکل معنی‌داری از سایر نمونه‌ها بیشتر بود که دلیل آن را می‌توان به افزایش سفتی بافت نان‌های تولیدی در مقایسه با نمونه شاهد نسبت داد که متعاقباً سبب کاهش قابلیت جویدن آن گردید. همچنین نمونه شاهد دارای قابلیت ارتجاعی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها بود اما با نان‌های حاوی پودر عناب (به تنهایی) و جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب از این نظر تفاوت معنی‌داری نداشت. در مجموع برآیند این ویژگی‌ها سبب شد تا نان‌های تولیدی به لحاظ پذیرش کلی نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته باشند.

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های حسی نان‌های تولیدی

نمونه	رنگ پوسته	عطر و طعم	قابلیت جویدن	شکل	قابلیت ارتجاعی	پذیرش کلی
شاهد	۴/۲۳± ۰/۷۲ ^a	۴/۳۰± ۰/۷۵ ^a	۴/۸۴± ۰/۳۷ ^a	۴/۰۷± ۰/۸۶ ^a	۴/۰۷± ۰/۷۵ ^a	۴/۳۱± ۰/۴۰ ^a
جو دوسر تخمیر شده	۴/۳۰± ۰/۷۵ ^a	۴/۳۰± ۰/۶۳ ^a	۳/۶۱± ۰/۹۶ ^b	۳/۸۴± ۱/۳۴ ^a	۳/۰۷± ۰/۹۵ ^b	۳/۸۰± ۰/۷۲ ^a
پودر عناب	۴/۲۳± ۱/۰۱ ^a	۴/۵۳± ۰/۶۶ ^a	۳/۷۶± ۱/۲۳ ^b	۴/۳۸± ۱/۲۶ ^a	۳/۷۶± ۱/۰۹ ^{ab}	۴/۱۳± ۰/۷۰ ^a
جو دوسر تخمیر شده + پودر عناب	۴/۱۵± ۰/۸۹ ^a	۴/۶۱± ۰/۶۵ ^a	۳/۴۶± ۱/۳۳ ^b	۴/۶۹± ۰/۶۳ ^a	۳/۶۱± ۱/۳۲ ^{ab}	۴/۱۰± ۰/۷۸ ^a

حروف متفاوت در هر ستون، مبین تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) هستند.

Bae و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که افزودن عصاره عناب به نان، سبب افزایش امتیاز پذیرش کلی نان تولیدی نسبت به نمونه شاهد گردید. نتایج پژوهش باباشاهی کوهانستانی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که جایگزینی مقدار ۳۰ درصد آرد سنجد با آرد گندم در تهیه کیک منجر به بهبود میزان پذیرش کلی گردید. نتایج آزمون ارزیابی حسی وطن‌دوست و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد که بین نمونه شاهد و نان‌های حاوی سنجد تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری وجود نداشت. نتایج پژوهش Karrar و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که میزان پذیرش کلی نان‌های تولیدی، طی استفاده توأم از خمیرترش سورگوم و پودر میوه کنار در مقایسه با نمونه شاهد، تفاوت معنی‌داری نداشت. احتمالاً حضور فیبر در نان‌های غنی‌شده سبب افزایش جذب آب گردیده و در ادامه، این پدیده منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش ثبات خمیر و افزایش پذیرش کلی محصول می‌شود (صادقی و همکاران، ۲۰۱۹).

در پژوهش Bartkiene و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد که افزودن مقادیر مختلف هر یک از خمیرترش‌های غلات به نان، سبب افزایش پذیرش نان تولیدی در مقایسه با نان فاقد خمیرترش شد. همچنین نان حاوی ۲۰ درصد خمیرترش، بالاترین میزان پذیرش را به خود اختصاص داد. هنگام استفاده از خمیرترش، بهبود عطر و طعم نان گندم به یک فرآیند کنترل شده با دقت بالا نیاز دارد زیرا اسیدیته بیش از حد به عنوان یک طعم ترش یا تند در نان ظاهر می‌شود. کشت آغازگر، محتوای خاکستر آرد، دمای تخمیر و بازده خمیر از عوامل مؤثر بر طعم نان هستند. تأثیر خمیرترش حاوی کشت‌های آغازگر لاکتیکی در افزایش عطر و طعم نان محرز گردیده است. همچنین تأثیر قابل توجه افزایش میزان خاکستر آرد و زمان تخمیر در تغییر طعم به احتمال زیاد به دلیل افزایش پروتئولیز، اسیدی شدن و تولید ترکیبات فرار است. افزایش پروتئولیز به دلیل فعالیت پروتئولیتیک بالاتر آرد سبوس‌دار منجر به تجمع اسیدهای آمینه در خمیرترش و متعاقباً در خمیر نان تولیدی می‌شود (Katina et al., 2005). اسیدهای آمینه مانند لوسین و پرولین به عنوان پیش‌سازهای طعم مناسب در طی تخمیر و یا در واکنش مایلارد در هنگام پخت شناخته می‌شوند (Thiele et al., 2002).

نتیجه‌گیری

تولیدی و میزان حجم مخصوص رابطه عکس وجود داشت. نمونه‌های حاوی جو دوسر تخمیر شده+ پودر غناب و پودر غناب (به تنهایی) نیز بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به خود اختصاص دادند و نمونه شاهد، دارای کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود. لذا استفاده توأم از منابع غنی از فیبرهای گیاهی نظیر پودر غناب و آرد جو دوسر تخمیر شده که غنی از املاح و ریزمغذی‌ها هستند در بهبود خصوصیات تغذیه‌ای و کیفی نان به‌عنوان غذای اصلی خانوار می‌تواند به‌عنوان یک روش ساده و کارآمد مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی ویژگی‌های نان‌های تولیدی نشان داد تمامی نمونه‌ها از تخلخل بیشتری نسبت به نمونه کنترل برخوردار بودند. نمونه حاوی جو دوسر تخمیر شده+ پودر غناب دارای بیشترین میزان سفتی بافت بود اما به لحاظ پذیرش کلی تفاوت معنی‌داری با نمونه کنترل و سایر نمونه‌ها نداشت و بر این اساس، عطر و طعم نان‌های تولیدی مورد پذیرش مصرف‌کنندگان قرار گرفت. همچنین بین میزان سفتی نان‌های

منابع

- AACC International. 2010. Approved methods of the American association of cereal chemists. 11th Ed. The St. Paul.
- AOAC Method. 2003. In official methods of analysis. Association of official analytical chemists. 17th Ed. Arlington, Virginia.
- Arendt, E.K., Ryan, L.A. and Dal Bello, F., 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24(2), 165-174.
- Babashahi Kouhanestani, S., Abbasi, H. and Zamindar, N., 2019. The effects of oleaster flour, active gluten and sucrose replacement with potassium acesulfame and isomalt on the qualitative properties of functional sponge cakes. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22.
- Bae, J.H., Lee, J.H., Kwon, K.I., Im, M.H., Park, G.S., Lee, J.G., Choi, H.J. and Jeong, S.Y., 2005. Quality characteristics of the white bread prepared by addition of jujube extracts. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 37(4), 603-610.
- Balestra, F., Cocci, E., Pinnavaia, G. and Romani, S., 2011. Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 700-705.
- Banu, I., Măcelaru, I. and Aprodu, I., 2017. Bioprocessing for improving the rheological properties of dough and quality of the wheat bread supplemented with oat bran. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13112.
- Bartkiene, E., Bartkevics, V., Pugajeva, I., Krungleviciute, V., Mayrhofer, S. and Domig, K., 2017. Parameters of rye, wheat, barley, and oat sourdoughs fermented with *Lactobacillus plantarum* LUHS 135 that influence the quality of mixed rye-wheat bread, including acrylamide formation. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(6), 1473-1482.
- Bastetti G. 2001. Breads produced in Italy. Part 1: Sours, preferments and starters. *American Institute of Baking. Technical Bulletin*, 23, 1-5.
- Betoret, E. and Rosell, C.M., 2020. Enrichment of bread with fruits and vegetables: Trends and strategies to increase functionality. *Cereal Chemistry*, 00, 1-11.
- Brindzová, L., Mikušová, L. and Takáčsová, M., 2009. Antioxidant effect of wheat bakery products supplemented with buckwheat, oat and barley β -D-glucan and their nutritional and sensory evaluation. *Proceedings of the 5th International Congress Flour-Bread '09. 7th Croatian Congress of Cereal Technologists*, 485-491.
- Chiavaro, E., Vittadini, E., Musci, M., Bianchi, F. and Curti, E., 2008. Shelf-life stability of artisanally and industrially produced durum wheat sourdough bread ("Altamura bread"). *LWT-Food Science and Technology*, 41(1), 58-70.
- Clarke, C.I., Schober, T.J., Dockery, P., O'Sullivan, K. and Arendt, E.K., 2004. Wheat sourdough fermentation: effects of time and acidification on fundamental rheological properties. *Cereal Chemistry*, 81(3), 409-417.
- Coda, R., Rizzello, C.G., Trani, A. and Gobbetti, M., 2011. Manufacture and characterization of functional emmer beverages fermented by selected lactic acid bacteria. *Food Microbiology*, 28(3), 526-536.
- Courtin, C.M. and Delcour, J.A., 2002. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *Journal of Cereal Science*, 35(3), 225-243.
- Dachana, K.B., Rajiv, J., Indrani, D. and Prakash, J., 2010. Effect of dried moringa (*Moringa oleifera* lam) leaves on rheological, microstructural, nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. *Journal of Food Quality*, 33(5), 660-677.
- Dhen, N., Rejeb, I.B., Boukhris, H., Damergi, C. and Gargouri, M., 2018. Physicochemical and sensory properties of wheat-Apricot kernels composite bread. *LWT-Food Science and Technology*, 95, 262-267.
- Đorđević, T.M., Šiler-Marinković, S.S. and Dimitrijević-Branković, S.I., 2010. Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. *Food Chemistry*, 119(3), 957-963.
- Flander, L., Rouau, X., Morel, M.H., Autio, K., Seppänen-Laakso, T., Kruus, K. and Buchert, J., 2008. Effects of laccase and xylanase on the chemical and rheological properties of oat and wheat doughs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5732-5742.
- Gobbetti, M., Rizzello, C.G., Di Cagno, R. and De Angelis, M., 2014. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, 37, 30-40.

- Hajinia, F., Sadeghi, A., Sadeghi Mahoonak, A., Khomeiri, M., Maghsoudlou, Y. and Moayed, A., 2020. Evaluation of probiotic and antifungal properties of the predominant LAB isolated from oat sourdough. *Journal of Food Hygiene*, 10(37), 45-59 (In Persian).
- Hur, S.J., Lee, S.Y., Kim, Y.C., Choi, I. and Kim, G.B., 2014. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160, 346-356.
- Hüttner, E.K., Dal Bello, F. and Arendt, E.K., 2010. Identification of lactic acid bacteria isolated from oat sourdoughs and investigation into their potential for the improvement of oat bread quality. *European Food Research and Technology*, 230(6), 849-857.
- Irakli, M., Mygdalia, A., Chatzopoulou, P. and Katsantonis, D., 2019. Impact of the combination of sourdough fermentation and hop extract addition on baking properties, antioxidant capacity and phenolics bioaccessibility of rice bran-enhanced bread. *Food Chemistry*, 285, 231-239.
- Karrar, E., Musa, A., Sheth, S., Huang, W., Sarpong, F. and Wang, X., 2020. Effect of sorghum sourdough and nabag (*zizyphus spina-christi*) pulp powder on dough fermentation and quality characteristics of bread. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(1), 455-464.
- Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K.H., Autio, K., Flander, L. and Poutanen, K., 2005. Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3), 104-112.
- Katina, K., Heiniö, R.L., Autio, K. and Poutanen, K., 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 39(10), 1189-1202.
- Kim, E.J. and Lee, J.H., 2012. Qualities of muffins made with jujube powder. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 41(12), 1792-1797.
- Li, J.W., Fan, L.P., Ding, S.D. and Ding, X.L., 2007. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube. *Food Chemistry*, 103(2), 454-460.
- Liukkonen, K.H., Katina, K., Wilhelmsson, A., Myllymaki, O., Lampi, A.M., Kariluoto, S., Piironen, V., Heinonen, S.M., Nurmi, T., Adlercreutz, H. and Peltoketo, A., 2003. Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(1), 117-122.
- Madhujith, T. and Shahidi, F., 2006. Optimization of the extraction of antioxidative constituents of six barley cultivars and their antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(21), 8048-8057.
- Mariotti, M., Lucisano, M. and Pagani, M.A., 2006. Development of a baking procedure for the production of oat-supplemented wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 151-157.
- Mildner-Szkudlarz, S., Zawirska-Wojtasiak, R., Szwengiel, A. and Pacyński, M., 2011. Use of grape by-product as a source of dietary fibre and phenolic compounds in sourdough mixed rye bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(7), 1485-1493.
- Peng, X., Ma, J., Cheng, K.W., Jiang, Y., Chen, F. and Wang, M., 2010. The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. *Food Chemistry*, 119(1), 49-53.
- Peterson, D.M., Emmons, C.L. and Hibbs, A.H., 2001. Phenolic antioxidants and antioxidant activity in pearling fractions of oat groats. *Journal of Cereal Science*, 33(1), 97-103.
- Purabdollah, H., Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Kashaninejad, M., Tabarestani, H.S. and Mohamadzadeh, J., 2020. Techno-functional properties of the selected antifungal predominant LAB isolated from fermented acorn (*Quercus persica*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-11.
- Rieder, A., Holtekjøl, A.K., Sahlstrøm, S. and Moldestad, A., 2012. Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 55(1), 44-52.
- Rózyło, R., Dzik, D., Laskowski, J., Skonecki, S., Łysiak, G., Kulig, R. and Rózyło, K., 2014. texture and sensory evaluation of composite wheat-oat bread prepared with novel two-phase method using oat yeast-fermented leaven. *Journal of Texture Studies*, 45(3), 235-245.
- Saadoudi, M., Hambaba, L., Abdeddaim, M., Lekbir, A., Bacha, A., Boudraa, S. and Zidani, S., 2017. Nutritional composition, physical properties and sensory evaluation of biscuit produced from jujubes (fruits of *Zizyphus lotus* L.). *Annual Review of Food Science and Technology*, 18(3), 395-401.
- Sabanis, D., Lebesi, D. and Tzia, C., 2009. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology*, 42(8), 1380-1389.
- Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Raeisi, M. and Mofidi, S.M.G., 2019. Improving the antioxidant capacity of bread rolls by controlled fermentation of rice bran and addition of pumpkin (*Cucurbita pepo*) puree. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2837-2845.
- Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, Nakamura T., 1992. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(6), 945-8.
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Siroos, K., Davoodi, M.G. and Sadeghi, F., 2018. Technical knowledge of formulation and production of functional bread using jujube extracts and examining the physicochemical and sensory properties of the product. *International Journal of Advanced Life Sciences*, 11(1), 1-8.

- Thiele, C., Gänzle, M.G. and Vogel, R.F., 2002. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. *Cereal Chemistry*, 79(1), 45-51.
- Turchetti, B., Pinelli, P., Buzzini, P., Romani, A., Heimler, D., Franconi, F. and Martini, A., 2005. *In vitro* antimycotic activity of some plant extracts towards yeast and yeast-like strains. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 19(1), 44-49.
- Vatandoust, S., Azizi, M.H., Hojjatoleslami, M., Molavi, H. and Raesi, Z., 2015. The effect of adding *Eleaagnus angustifolia* powder to quality characteristics of burger's bread. *Journal of Food Science and Technology*, 12(49), 73-84 (In Persian).
- Verardo, V., Glicerina, V., Cocci, E., Frenich, A.G., Romani, S. and Caboni, M.F., 2018. Determination of free and bound phenolic compounds and their antioxidant activity in buckwheat bread loaf, crust and crumb. *LWT- Food Science and Technology*, 87, 217-224.
- Wang, R., Zhou, W. and Isabelle, M., 2007. Comparison study of the effect of green tea extract (GTE) on the quality of bread by instrumental analysis and sensory evaluation. *Food Research International*, 40(4), 470-479.
- Xu, J., Wang, W. and Li, Y., 2019. Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review. *Journal of Functional Foods*, 52, 629-639.
- Yu, L., Perret, J., Harris, M., Wilson, J. and Haley, S., 2003. Antioxidant properties of bran extracts from "Akron" wheat grown at different locations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6), 1566-1570.



Combined effect of controlled fermented oat and jujube powder on texture and antioxidant activity of the produced wheat bread

F. Hajinia¹, A. R. Sadeghi^{2*}, A. R. Sadeghi Mahoonak³, M. Khomeiri³, Y. Maghsoudlou³, A. Moayedi⁴

Received: 2020.05.24

Accepted: 2020.10.07

Introduction: Bread is the main source of nutrients and it is a cheap staple food in the daily diet of people in many parts of the world. One of the most important ways to improve the quality of bread is to ferment cereals and use fruit resources. Cereal fermentation has a well-known potential to improve the nutritional properties of the baked goods. It stabilizes the levels of various bioactive compounds, retards starch retrogradation and increases mineral bioavailability. A diet rich in cereal and fruit-based products could improve human health. Oat grain has a high functional potential due to its composition. This grain is known to be an excellent source of dietary fiber, antioxidants and a well-balanced protein fraction. Jujube fruit is also getting popularized due to the high content of vitamins, phenolic, polysaccharides and natural colorant agents. The quality of available commercially jujube depends on the contents of its bioactive compounds and micronutrients. There is no report about simultaneous application of fermented oat and jujube powder in processing of wheat bread. Accordingly, the aims of this study were to produce a supplemented wheat bread containing these ingredients, and evaluate the textural and antioxidant properties of the product.

Materials and methods: In the present study, controlled fermented oat containing selected LAB isolated from oat sourdough (as starter culture) was used to produce supplemented wheat bread. Crumb hardness, porosity, specific volume, overall acceptability and antioxidant activity in wheat bread containing fermented oat, jujube powder and their mixture were investigated in comparison with the control (wheat bread). All the experiments were done in triplicates. A complete randomized design with the least significance difference (LSD) post-hoc was also used to statistical analysis of the data at $P < 0.05$ by SPSS (version 20) software.

Results and Discussion: The highest amount of crumb hardness was observed in the sample containing mixture of controlled fermented oat and jujube powder, meanwhile the lowest amount of hardness was belonged to the control sample. The results of specific volume showed an inverse relationship between the values of hardness and specific volume, and the lowest specific volume was observed in sample containing controlled fermented oat along with jujube powder. The highest amount of specific volume was also observed in the control sample. The porosity of all the produced breads was also significantly ($P < 0.05$) higher than the control sample, and the highest porosity was observed in the sample containing controlled fermented oat. The amount of produced gaseous compounds and carbon dioxide during fermentation affect the porosity of the produced bread. Furthermore, water retention capacity is also involved in increase in bread specific volume. Water reduces the stiffness of protein structures and allows better air to enter the dough texture and more specific volume of the product. Wheat breads containing controlled fermented oat + jujube powder and jujube powder (alone) had the highest antioxidant activity, and the control sample had the lowest antioxidant activity. During fermentation, the amount of phenolic compounds or flavonoids increases, and fermentation also causes the synthesis or release of various compounds that have antioxidant properties. Characterization of wheat bread containing the optimal formulation of controlled fermented oat and jujube powder didn't show significant effect on the overall acceptability of the product. The presence of fiber in fortified breads is likely to increase water uptake, which in turn increases water retention capacity, reduces dough stability and increases overall acceptability. Fruits and whole grains are rich in phytochemicals such as phenolic compounds. Application of phenolic compounds in bread processing, in addition to improve antioxidant properties, affects the physicochemical properties of the dough and the quality characteristics of the produced bread due to various interactions with flour compounds such as gluten and starch. Accordingly, the combined use of plant-rich resources such as jujube powder and fermented oat, which are rich in minerals and micronutrients, can

1, 2, 3 and 4. Former M.Sc student, Associate Professor, Professor, Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

(*Corresponding Author Email: sadeghi.gau@gmail.com)

be used to improve the nutritional and quality characteristics of the supplemented wheat bread as a simple and efficient method. Due to the adverse effects of chemical additives and improvers, the importance of providing natural alternatives such as fermented substrates and plant resources in wheat bread processing is quite necessary. The best alternatives for this purpose include sourdough and fiber-rich plant. Wheat bread containing a mixture of controlled fermented oat and jujube powder had the highest crumb hardness and the lowest specific volume. Antioxidant activity in all samples was significantly higher than the control sample and wheat bread containing a controlled fermented oat and jujube powder with 90.52% had the highest amount of antioxidant activity. According to the results, controlled fermented oat and jujube powder, as functional ingredients, may be successfully incorporated into the wheat bread with positively effects on its quality characteristics.

Keywords: Controlled fermented oat, jujube powder, antioxidant activity, enriched wheat bread.

مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های کیفی، بافتی و حسی پنیر سفید ایرانی کم‌چرب حاوی مخلوط صمغ دانه ریحان با زانتان و گوار

محمدعلی حصاری نژاد^{۱*} - عاطفه عارفخانی^۲ - علی رافع^۳ - فاطمه جاویدی^۴ - علیرضا صادقیان^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶

چکیده

به علت روند رو به رشد تقاضا برای ترکیبات طبیعی و با سازگاری زیستی، کاربرد هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی در حال افزایش است. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی هیدروکلوئیدها به شدت به وزن مولکولی و ساختار شیمیایی آن وابسته است. اثر استفاده از مخلوط هیدروکلوئیدهای صمغ دانه ریحان با زانتان و گوار بر ویژگی‌های کیفی، بافتی و حسی پنیر سفید ایرانی کم‌چرب مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش آزمایشگاهی نمونه‌های پنیر سفید ایرانی با غلظت‌های متفاوت مخلوط هیدروکلوئید (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ گرم به ازای هر کیلوگرم شیر) در سه تکرار تهیه گردید تا اثر آن بر ویژگی‌های بافتی و کیفی فرآورده بررسی شود. آزمون‌های مورد بررسی شامل رطوبت، چربی، پروتئین، pH، ارزیابی حسی و ویژگی‌های بافتی بود. نتایج نشان داد که افزایش غلظت مخلوط حاوی صمغ گوار در تمام نمونه‌ها تاثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های کیفی گذاشت به‌طوری که توسط ارزیابان حسی نامطلوب معرفی شد. ضمن اینکه از لحاظ بافتی نیز بسیار نرم بود و بافت جامد خود را تا حدی از دست داد. نمونه‌های حاوی صمغ زانتان دارای ویژگی‌های بافتی مناسب بودند. نتایج ارزیابی ویژگی‌های کیفی، بافتی و حسی نشان داد با استفاده از ۰/۰۷۵ درصد مخلوط صمغ دانه ریحان - زانتان در فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی می‌توان پنییری با خواص حسی مطلوب و قابل پذیرش برای مصرف‌کنندگان تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: پنیر سفید ایرانی، صمغ دانه ریحان، زانتان، گوار، ویژگی‌های کیفی.

مقدمه

ترکیبات یا روش‌هایی جهت رسیدن به این هدف رو به افزایش است. هیدروکلوئیدها ترکیباتی هستند که به واسطه ویژگی ذاتی آن‌ها در جذب آب و ایجاد احساس دهانی مشابه چربی می‌توانند تاثیر به‌خصوصی در جایگزینی چربی داشته باشند. بنابراین ایجاد فرمول مناسب در ترکیب هیدروکلوئیدها می‌تواند به صورت مکمل باعث ارتقاء کیفی بافت پنیر کم‌چرب باشد.

صمغ دانه ریحان یک هیدروکلوئید بومی بوده که خصوصیات پایدار کنندگی و امولسیفایری امیدوار کننده‌ای را از خود نشان داده است که آن را به‌عنوان یک ماده عملکردی بالقوه در صنعت غذا تبدیل کرده است (Hosseini-Parvar, Matia-Merino, & Golding, 2015). ترکیب شیمیایی صمغ دانه ریحان از دو قسمت اصلی تشکیل شده است: یک هسته گالاکتومانان پایدار در اسید (۴۳ درصد) با نسبت گلوکز به مانوز ۱۰:۲، و یک زایلان متصل به آن (۲۴/۲۹ درصد) شامل زنجیره‌های با بخش اسیدی در قسمت محلول در اسید. به علاوه، جزء کوچکی گلوکان (۲/۳۱ درصد). گالاکتومانان بخش هیدروفوب و زایلان مسئول رفتار هیدروفوب آن است. ترکیب هیدروکلوئیدها در ساختار پنیر به‌طور واضح تغییرات بین پروتئین‌ها را

حفظ کیفیت بافتی و حسی پنیرسفید ایرانی هنگام کاهش محتوای چربی آن یکی از مهمترین موارد مورد بررسی می‌باشد که هم از نظر تکنولوژیکی و هم از نظر اقتصادی اهمیت زیادی دارد. در این بین کنترل میزان جذب آب در پنیر، معمولاً مشکلات بافتی در پنیر ایجاد می‌کند که از آن جمله نرمی بافت پنیر می‌باشد. بنابراین در صورتی که بتوان میزان جذب آب در پنیر را به‌گونه‌ای کنترل کرد که در بافت پنیر حاصله تغییری حاصل نشود و حتی کیفیت آن بهتر گردد، این مشکل حل خواهد شد. در حال حاضر تقاضا برای استفاده از

۱ و ۳ - به‌ترتیب استادیار و دانشیار، گروه فراوری موادغذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

۲ - مدیر کنترل کیفیت، شرکت فرآورده‌های لبنی بینالود، کیلومتر ۲۱ جاده نیشابور - مشهد، نیشابور

۴ - دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

تغییر می‌دهد (Baghdadi, Aminifar, Farhoodi, & Shojaei, 2018). برهمکنش صمغ دانه ریحان و پروتئین‌های شیر در دیسپرسیون، امولسیون روغن در آب و سیستم‌های ژلی اثرات سینرژیستی را نشان داده است. این برهمکنش‌ها یک شبکه ژلی ضعیف را در کل سیستم تشکیل می‌دهد و بنابراین سیستم را پایدار می‌سازد. همچنین گزارش شده است که زنجیره‌های صمغ دانه ریحان می‌تواند شبکه وب را درون ماتریس پروتئین ایجاد کند و منجر به کاهش مقدار سینرسیس و هیسترسیس و به همان اندازه افزایش قوام در ماست کم‌چرب شود. با استفاده از این صمغ در فرمولاسیون پنیر پروسس مشاهده شده است که با افزایش سطح صمغ دانه ریحان رفتار الاستیک‌تری در ساختار پنیر مشاهده می‌شود. افزودن صمغ دانه ریحان اثر بیشتری روی ذوب‌پذیری پنیر پروسس در مقایسه با افزودن پروتئین داشته است. نتایج نشان داد که زنجیره‌های صمغ دانه ریحان می‌تواند یک شبکه وب را در سراسر ماتریس پروتئین پنیر پروسس ایجاد کند و شبکه ایجاد شده توسط رشته‌های کازئین را تقویت کند. می‌توان نتیجه گرفت که با افزودن صمغ دانه ریحان، می‌توان پنیرهای پروسس با قوام بیشتر، اما با ذوب پذیری کمتر و با هزینه پایین‌تر به علت پروتئین پایین و رطوبت بالاتر تولید نمود (Hosseini-Parvar et al., 2015).

گالاکتومانان‌ها مجموعه‌ای متشکل از زنجیره خطی (۴-۱) D مانان با مقادیر مختلفی از D گالاکتوز می‌باشند. مقادیر زیاد گالاکتوز در حدود ۲۰-۴۰ درصد مانع از انسجام قوی زنجیره اصلی می‌شود، به‌طوری که هیچ منطقه گسترده کریستالی نمی‌تواند تشکیل شود. بنابر این آب می‌تواند در دمای اتاق یا دمای بالاتر برای هیدراته یا انحلال صمغ‌ها به آسانی بین مولکول‌ها نفوذ کند. صمغ گوار شامل گالاکتومانان‌هایی با ۴۰-۳۳ درصد وزنی گالاکتوز، محلول در آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. گالاکتومانان‌های صمغ گوار غیریونی هستند (Wielinga, 2000).

صمغ زانتان یک اگزوپلی‌ساکارید طبیعی با وزن مولکولی بالا می‌باشد که توسط *زانتاماناس کامپستریس* تحت شرایط نامطلوب سنتز می‌شود. این صمغ در مواد غذایی به‌عنوان یک قوام‌دهنده، پایدارکننده و امولسیفایرکننده مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند در کنار دیگر صمغ‌ها نقش ژل‌دهندگی داشته باشد (Salari et al., 2017). اخیراً در تحقیقی صمغ زانتان و کربوکسی متیل سلولز به پنیر خامه‌ای اضافه شده است و نتایج خصوصیات حسی شامل بافت، طعم، بو، رنگ و پذیرش کلی نشان داده است که افزودن زانتان و کربوکسی متیل سلولز اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های ارگانولپتیکی پنیر خامه‌ای نداشته است و پذیرش کلی محصول خوب بوده است. همچنین سطوح پایین‌تر زانتان در ترکیب با سطوح مختلف CMC از همه نمونه‌ها قابل پذیرش‌تر بوده است (Salari et al., 2017). همچنین اثر صمغ زانتان به‌عنوان جایگزین چربی روی کیفیت پنیر

موزارلا کم چرب مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان داده است که استفاده از صمغ زانتان در سطح ۱۵/۰ درصد به‌عنوان جانشین چربی می‌تواند در صنعت پنیر موثر واقع شود و چربی پنیر موزارلا بدون تضعیف کیفیت آن کاهش یابد (Sattar, Sameen, Huma, & Shahid, 2016). زانتان و گالاکتومانان‌ها زمانی که به تنهایی استفاده می‌شوند تشکیل ژل نمی‌دهند، اما با یکدیگر، به علت واکنش‌های هم‌افزایی تشکیل ژل می‌دهند. مخلوط زانتان و گالاکتومانان یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین سیستم‌های ژلی هم‌افزای مطالعه شده می‌باشد. زانتان تعاملات هم‌افزایی بسیار چشمگیری با پلی‌ساکاریدهای غیرژل‌دهنده خانواده گالاکتومانان‌ها نشان می‌دهد که منجر به افزایش ویسکوزیته و تشکیل ژل می‌شود. تعامل زانتان با گالاکتومانان‌ها بستگی به نسبت مخلوط، pH و محیط یونی دارد. به‌طور کلی تعاملات هم‌افزایی با گالاکتومانان‌ها در حداکثر مقدار خود در آب غیریونی و pH خنثی می‌باشد و در غلظت نمک بالا و pH پائین کاهش می‌یابد (Saha & Bhattacharya, 2010). پیشتر تاثیر به‌کارگیری صمغ زانتان در تولید پنیر سفید کم‌چرب ایرانی بعد از طی ۶۰ روز دوره رسیدگی در آب نمک مورد مطالعه قرار گرفته است (Ghanbari Shendi et al., 2011). نتایج حاکی از آن بود که با افزایش غلظت زانتان در پنیرهای بدون چربی، درصد جزء پروتئینی کاهش پیدا کرد، که دلیل آن افزایش میزان رطوبت پنیر به دلیل ویژگی آب‌دوستی زانتان می‌باشد و نشان‌دهنده کاهش میزان آب‌اندازی در طول ساخت پنیر بود.

رحیمی و همکاران (۲۰۰۷) نیز تاثیر به‌کارگیری صمغ کتیرا بر خواص رئولوژیکی و حسی پنیر ایرانی کم‌چرب را مورد بررسی قرار دادند. کاهش مقدار چربی تاثیر منفی بر راندمان پنیر، خواص حسی و بافت پنیر داشته و افزایش غلظت صمغ کتیرا منجر به کاهش این پارامترها و افزایش سفیدی پنیرها شد. ناطقی (۲۰۲۰) نیز استفاده از صمغ‌های ریحان و زانتان در غلظت‌های (۰/۰۱، ۰/۰۳ و ۰/۰۵ درصد) را به‌طور جداگانه به‌عنوان جایگزین چربی در پنیر سفید ایرانی مورد بررسی قرار داد. مطابق نتایج این پژوهش، استفاده از این هیدروکلوئیدها در پنیر منجر به کاهش قابلیت جویدن، سختی، چسبندگی، قابلیت ارتجاعی، پیوستگی و صمغی بودن در مقایسه با نمونه شاهد شد. اما هنوز نمی‌توان آن را جایگزین مناسبی که بتواند نقش چربی را به‌عنوان یک بافت‌دهنده و طعم‌دهنده مناسب ایفا کند، عنوان کرد. بنابراین در این پژوهش با ایجاد فرمولاسیون مناسب در استفاده از این هیدروکلوئیدها سعی ارتقاء بافت پنیر می‌گردد تا به این طریق یکی از عیوب صنعت پنیرسازی که تغییرات بافتی در فصول گرم و سرد سال می‌باشد برطرف گردد.

مواد و روش‌ها

شیرخام با میزان چربی ۱/۵ درصد از کارخانه فرآورده‌های لبنی مشهد خریداری شد. صمغ دانه ریحان مطابق روش رضوی و همکاران در شرایط بهینه دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد، pH برابر ۸ و نسبت آب به دانه ۱:۶۶ استخراج صورت گرفت (Razavi et al., 2009) و صمغ استخراج شده توسط دستگاه خشک‌کن انجمادی خشک شد. دو هیدروکلوئید زانتان و گوار نیز از شرکت Modernist Pantry, Eliot (امریکا) مورد استفاده قرار گرفت. جهت تهیه نمونه‌های پنیر از مایه کشت 41 white daily حاوی گونه‌های مزوفیل و ترموفیل، و انعقادگر رنت استاندارد Chy-max (کریستین هسن، دانمارک) استفاده شد. تمامی موادشیمیایی مورد استفاده در این پژوهش با درجه خلوص بالا از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

روند تولید پنیر

در ابتدا شیر خام با هیدروکلوئیدهای مصرفی به‌طور کامل یکنواخت مخلوط گردید، سپس، در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه پاستوریزه شد. شیر پاستور شده تا دمای ۳۰ درجه سانتیگراد سرد شده و به آن استارتر لاکتیکی ترموفیل و مزوفیل همراه با ۱۵ گرم در ۱۰۰ لیتر کلرور کلسیم اضافه می‌شود و حدود ۱۵ دقیقه در این دما نگهداری می‌شود. آنگاه، مایه پنیر به میزان ۰/۰۵ درصد به مخلوط افزوده و به‌خوبی هم زده می‌شود و به آن فرصت داده تا دلمه پنیر ایجاد شود (۱۵ تا ۲۰ دقیقه). وقتی دلمه تشکیل شد برش‌هایی مکعبی با ابعاد ۱×۱ در دلمه زده شده و فرصت داده می‌شود تا فرایند آب‌اندازی کامل گردد. سپس آب پنیر خارج و مقدار آن توزین می‌گردد. دلمه در توری پارچه‌ای تخلیه و توسط وزنه‌های مشخص (وزنه ۱/۵ برابر وزن دلمه می‌باشد) به مدت ۱ ساعت پرس انجام می‌شود. در نهایت، پنیر وزن شده و در آب نمک ۱۰ درصد با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود و آنگاه نمونه‌ها سرد می‌شوند. لازم به ذکر است pH نمونه‌های پنیر به ۵/۵ رسانده شد و سپس سردخانه‌گذاری صورت گرفت.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

راندمان تولید پنیر به صورت نسبت وزنی پنیر تولیدی به شیر خام اولیه محاسبه و به صورت درصد بیان گردید. آزمون‌های فیزیکوشیمیایی شیر و پنیر شامل رطوبت، چربی، پروتئین کل و pH، به شرح زیر روی نمونه‌ها انجام گرفت. اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد (استاندارد ملی ایران، ۱۷۵۳)، چربی به روش ژربر (استاندارد ملی ایران، ۷۶۰) و پروتئین به روش کلدال (استاندارد ملی ایران، ۹۱۸۸-۱) اندازه‌گیری شد. pH با استفاده

از دستگاه pH متر (متروهم، ۹۱۳، سوئیس) و بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۵۲ انجام گردید.

تعیین رنگ

رنگ سطح نمونه‌ها با استفاده از رنگ‌سنج (Konica Minolta, CR-410، ژاپن) که مجهز به یک منبع نوری (با ۲ مشاهده‌گر) بود در سه تکرار اندازه‌گیری شد. رنگ‌سنج توسط یک کاشی سفید ($a^* = 98/14$, $L^* = 98/14$, $b^* = 1/89$) استانداردسازی و رنگ توسط تناسب بین سه پارامتر روشنایی (L^*) سفید تا سیاه، قرمزی (a^*) قرمز تا سبز) و زردی (b^*) زرد تا آبی، توصیف گردید (Hesarinejad et al., 2020).

بافت‌سنجی نمونه‌های پنیر

با انجام TPA، ویژگی‌های حسی نظیر صمغی بودن، چسبندگی و مانند آن را می‌توان تعیین نمود. برای به‌دست آوردن نتایج TPA می‌توان از دستگاه تجزیه و تحلیل بافت استفاده نمود. منحنی نیرو که به‌عنوان تابعی از زمان ایجاد می‌شود، موسوم به پروفایل بافت است. از آنجایی که دستگاه باعث فشرده شدن نمونه به میزان دو بار می‌شود، دو منحنی مثبت و منفی به‌دست می‌آید (Aghdaei et al., 2011). از مقادیر حداکثر نیرو و سطح زیر منحنی‌ها برای تعیین ویژگی‌های مختلف نمونه‌های غذایی نظیر قابلیت ترک‌خوردگی، سختی، انسجام، چسبندگی، قابلیت ارتجاعی، صمغی بودن و قابلیت جویدن استفاده می‌شود (Aghdaei et al., 2011). از این رو پارامترهای بافت پنیر تولید شده با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (Stable micro system, TA.XTplus، انگلستان) روی نمونه‌ها (مربعی شکل در ابعاد ۲۰×۲۰ میلی‌متر و ضخامت حدود ۳ میلی‌متر) در دمای اتاق انجام گرفت. پروب مورد استفاده برای آزمون TPA از نوع استوانه‌ای و به قطر ۲۵ میلی‌متر بود. نمونه‌ها به میزان ۵۰ درصد ارتفاع اولیه‌شان با سرعت فشرده‌گی ثابت ۰/۵ mm/s فشرده شدند.

ارزیابی حسی

در ارزیابی حسی، به‌منظور اندازه‌گیری پتانسیل پذیرش پنیر تولیدی، بر مبنای مشتری پسندی آزمون گردید. بدین منظور از ده ارزیاب آموزش دیده از شامل دانشجویان در محدوده سنی ۲۵ تا ۳۵ سال درخواست شد تا محصول را بر مبنای مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای (۵- بسیارخوب، ۴- خوب، ۳- نه خوب، نه بد (متوسط)، ۲- بد، ۱- بسیار بد) از دیدگاه ظاهر، بافت، طعم و پذیرش کلی ارزیابی نمایند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های ساختمانی (SEM)

نمونه پنیر (۱×۱×۲ mm) در محلول ۲/۵ درصد گلوکار آلدئید به همراه ۱/۵ درصد پارافرم آلدئید در بافر cacodylate ۰/۱ مولار به مدت ۲۴ ساعت تثبیت شد، سپس آب‌کشی و در محلول ۱ درصد تتراکسید اسمیوم به مدت ۶۰ دقیقه تثبیت شد. به‌منظور نفوذ بهتر محلول تثبیت‌کننده در نمونه ژل، خلاء به مدت یک ساعت در مرحله تثبیت به‌کار گرفته می‌شود. آب‌گیری در یک سری از محلول‌های اتانول کاهشی انجام می‌گیرد. نمونه در نقطه بحرانی خشک می‌شود، با ۳۰ nm از طلا/پالادیم پوشش داده و در حداکثر ولتاژ ۱۵ kV با استفاده از میکروسکوپ الکترونی SEM مدل LeQ1450vp آزمون گردید. حداقل پنج تصویر در هر یک از بزرگنمایی‌ها در ۱۰-۱۵ ناحیه مختلف از نمونه تهیه گردید (Rafe et al., 2013).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش تیمارهای حاوی مخلوط هیدروکلوئیدهای ریحان/ زانتان و ریحان/ گوار با غلظت‌های متفاوت مخلوط هیدروکلوئید (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ گرم به ازای هر کیلوگرم شیر) و تیمار شاهد فاقد صمغ در سه تکرار تولید شدند. به‌منظور آنالیز آماری داده‌های حاصل، بعد از آنالیز واریانس، برای تعیین اختلاف میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۲۲ انجام گرفت. برای رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 استفاده شد. تمام آزمون‌ها حداقل با سه تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر استفاده شده و نمونه‌های پنیر تولیدی در جدول ۱ نشان داده شده است. مقایسه میانگین در رطوبت نهایی فراورده در پنیرهای تولیدشده با مصرف مخلوط هیدروکلوئیدی در نسبت‌های مختلف نشان می‌دهد که با مصرف غلظت‌های مختلف این هیدروکلوئیدها، تفاوت معنی‌داری در محتوای رطوبت نمونه پنیرهای تولیدی مشاهده می‌شود ($p < 0.05$). مطابق جدول ۱ افزایش غلظت هیدروکلوئیدها از ۰/۲۵ به ۰/۷۵ درصد باعث افزایش میزان رطوبت نمونه‌های پنیر شده است. درصد رطوبت نمونه شاهد کمتر از سایر نمونه‌ها بوده که دلیل آن را عدم وجود هیدروکلوئید در این تیمار می‌توان بیان کرد. تفاوت بین میزان رطوبت پنیرهای تولیدی همچنین می‌تواند به دلیل تفاوت در میزان پروتئین به‌کاررفته در آن‌ها می‌باشد به‌طوری که افزایش میزان پروتئین ممکن است همراه با بالا رفتن جذب آب و در نتیجه بالا رفتن میزان رطوبت آن‌ها شود. در

زمینه کازئینی بافت پنیر، چربی و رطوبت به‌عنوان پرکننده عمل می‌کند. با افزایش غلظت هیدروکلوئیدها، میزان رطوبت نمونه‌های پنیر به دلیل ویژگی‌های آبدوستی آن‌ها افزایش یافته است. این یافته‌ها با یافته‌های کوکا و متین که از جانشین‌های چربی مصنوعی استفاده کرده بود مطابقت داشت (Koca & Metin, 2004). می‌توان پیشنهاد داد که آب می‌تواند به‌طور مستقیم توسط هیدروکلوئیدها جذب شده و در نتیجه مانع از به هم نزدیک شدن شبکه پروتئینی شود. از این رو نیروهایی که از طرف شبکه پروتئینی باعث خروج آب از دلمه می‌شوند، کاهش پیدا می‌کند (Koca & Metin, 2004). از این‌رو نسبت رطوبت یک فاکتور مهم در تولید پنیر می‌باشد که با افزودن هیدروکلوئید، افزایش یافته است. این نتیجه با یافته‌های محققان دیگر (Madadlou et al., 2005; Metzger et al., 2001) مطابقت داشت. Romieh و همکاران (۲۰۰۲) نیز در پژوهش روی پنیر کم چرب آب نمکی به این نتیجه رسیدند که تفاوت رطوبت نمونه‌های پنیر احتمالاً به علت بالا بودن میزان پروتئین در پنیرهای کم چرب همراه با بالا رفتن جذب آب در شبکه پروتئینی و بالتبع افزایش رطوبت آن‌ها می‌باشد. که نتایج این پژوهش با پژوهش حاضر همخوانی دارد. نتایج این پژوهش همچنین نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی صمغ گوار نسبت به نمونه‌های حاوی صمغ زانتان دارای محتوای رطوبت بالاتری هستند که این امر احتمالاً به دلیل بالاتر بودن ظرفیت جذب آب صمغ گوار نسبت به صمغ زانتان می‌باشد (Dogan et al., 2011).

در حین پنیرسازی، چربی شیر در زمینه کازئینی به دام می‌افتد (Rudan et al., 1999). از آنجا که رطوبت جایگزین چربی موجود در پنیر می‌شود (Mistry, 2001)، ضمن افزایش رطوبت نمونه‌های پنیر، محتوای چربی کاهش می‌یابد. افزایش غلظت هیدروکلوئیدها باعث کاهش چربی نمونه می‌شود که دلیل آن جذب و حفظ بیشتر آب در پنیر به دلیل ویژگی آب دوست ترکیبات هیدروکلوئیدی می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌های حاوی گوار دارای محتوای چربی پایینتری نسبت به نمونه‌های محتوای صمغ زانتان بوده‌اند.

نتایج جدول ۱ نشان داد که افزایش غلظت هیدروکلوئیدها منجر به کاهش pH گردید این پدیده احتمالاً به دلیل پروتئولیز تشدید شده در پنیرها در غلظت‌های مختلف هیدروکلوئید می‌باشد. زیرا همانطور که پیشتر بیان شد در این پنیرها رطوبت بالا رفته و با افزایش رطوبت غلظت کیموزین بالا می‌رود (Zalazar et al., 2002). افزایش غلظت کیموزین باعث تشدید پروتئولیز و در نتیجه کاهش pH می‌شود. این نتیجه به یافته‌های آذرینا و همکاران (۱۹۹۷) مطابقت داشت.

در جدول ۱ نتایج مربوط به آنالیز رنگ پنیرهای مختلف آمده است. پخش نور در هر سیستمی به یکنواختی مولکول‌های آن سیستم (Madadlou et al., 2006) و سطوح ریز ساختار (Rudan et al., 1998) بستگی دارد. در مواد جامد نظیر پنیر، نور از لایه‌های سطحی

عبور کرده و بخش اعظم آن توسط گلبول‌های چربی شیر (Lemay et al., 1994) و همچنین حفره‌های آب پنیری (Paulson et al., 1998) پخش می‌شود. L-value معیار ارزیابی رنگ بوده که بیانگر میزان سفیدی و شفافیت (Sheehan et al., 2005) نمونه‌های پنیر می‌باشد. در مقایسه‌ای که بین نمونه‌های پنیر تولیدی حاوی هیدروکلوئیدهای ریحان/ گوار و ریحان/ زانتان صورت گرفت، مشاهده شد که با افزایش غلظت هیدروکلوئید، میزان شفافیت و

سفیدی افزایش پیدا کرد که نشان‌دهنده تأثیر هیدروکلوئیدها در افزایش حفره‌های آب پنیری می‌باشد. در ضمن احتمالاً می‌تواند تغییر هیدراسیون پروتئین‌ها و همچنین افزایش تعداد قطرات آب آزاد نیز در افزایش پخش نور و سفیدی پنیر تأثیر بگذارد. همچنین نتایج نشان‌دهنده شفافیت بیشتر نمونه‌های حاوی صمغ زانتان نسبت به نمونه‌های صمغ گوار است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر و نمونه‌های پنیر تولیدی

نام نمونه	نوع هیدروکلوئید	غلظت هیدروکلوئید (g/kg)	رطوبت (%)	پروتئین کل (%)	چربی (%)	pH	L*
شیر خام	-	-	۹۱/۲۵	۳/۲۰	۱/۵۰	۶/۶۸	-
پنیر شاهد	-	صفر	۶۱/۱۲	۱۴/۴۹	۱/۵۰	۵/۳۶	۸۶/۳۶
BG0.25	ریحان/گوار	۰/۲۵	۶۶/۵۴	۱۳/۹۴	۱/۳۱	۴/۸۱	۸۶/۴۰
BG0.50		۰/۵۰	۶۹/۸۶	۱۴/۱۰	۱/۲۵	۴/۷۹	۸۶/۴۱
BG0.75		۰/۷۵	۷۱/۳۴	۱۴/۷۶	۱/۱۷	۴/۶۵	۸۷/۷۱
BX0.25	ریحان/زانتان	۰/۲۵	۶۵/۱۴	۱۴/۱۲	۱/۳۸	۴/۷۸	۸۵/۲۶
BX0.50		۰/۵۰	۶۸/۰۹	۱۴/۳۲	۱/۲۹	۴/۷۰	۸۶/۷۳
BX0.75		۰/۷۵	۶۹/۱۸	۱۵/۴۵	۱/۲۳	۴/۶۲	۸۹/۲۶

بافت‌سنجی نمونه‌های پنیر

آنالیز بافتی برای تعیین میزان نیروی مصرفی که مستقیماً توسط مصرف‌کننده احساس می‌شود به کار می‌رود. بافت محصول مهم‌ترین پارامتر برای پذیرش محصول توسط مصرف‌کننده است (Sohini et al., 2015). نتایج آزمون بافت‌سنجی پنیر تولیدی با هیدروکلوئیدهای غذایی در جدول ۲ ارائه شده است. سختی، مقاومت ماده غذایی نسبت به اعمال نیروی فشاری به کارگرفته شده است (Szczeniak, 2002). مقایسه نمونه‌های حاوی ریحان/ زانتان با نمونه‌های حاوی ریحان/ گوار نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی زانتان سختی بیشتری دارند که احتمالاً مویید این مطلب است که این هیدروکلوئیدها دارای تأثیر بیشتری نسبت به مخلوط حاوی گوار در استحکام ژل پنیر تولیدی است و تأثیر گوار صرفاً قوام‌دهندگی در نقاط غلظتی تولیدی است. با توجه به جدول ۲ می‌توان فهمید که با افزایش غلظت ریحان/ زانتان افزوده شده به پنیر (از ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ درصد) میزان سختی از ۲۶۰/۹۶ به ۳۶۴/۲۳ افزایش داشته است. همچنین، در تمام غلظت‌های هیدروکلوئیدی حاوی صمغ گوار نیز با افزایش غلظت گوار سختی افزایش داشته است اما نسبت به نمونه‌های حاوی زانتان مقادیر کمتری مشاهده شد. همانطور که گفته شد، با افزایش غلظت هیدروکلوئیدهای تولید شده به پنیر سفتی بافت نمونه‌ها در تمام تیمارها افزایش یافت. همچنین می‌توان این گونه بیان کرد که در

نمونه‌های حاوی زانتان به دلیل برهمکنش‌های قوی تری که بین دو هیدروکلوئید زانتان و ریحان وجود دارد، سختی نمونه‌های با غلظت ثابت هیدروکلوئید به‌طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد. حجت الاسلامی و عزیز (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که سفتی بافت ایجادشده در کیک در حضور دو صمغ کتیرا و زانتان نسبت به استفاده از هریک به تنهایی بیشتر است.

در بررسی فنریت نمونه‌ها نیز در تمامی آن‌ها مقدار مدول بالا و بین ۰/۹۹ تا ۱ متغیر بود که نشان‌دهنده رفتار برگشت‌پذیر خوب نمونه‌ها و مطلوبیت آن می‌باشد. استفاده از هیدروکلوئیدها در فرمول، بافتی ویسکوالاستیک ایجاد می‌کند که منجر به فنریت بالا و مطلوب در محصولات می‌گردد (Hamann et al., 2006). در نمونه‌های حاوی صمغ زانتان، این ویژگی از همکاری دو صمغ زانتان/ ریحان حاصل می‌آید. زانتان تعاملات هم‌افزایی بسیار چشمگیری با پلی‌ساکاریدهای غیرژل‌دهنده خانواده گالاکتومانان‌ها نشان می‌دهد که منجر به افزایش ویسکوزیته و تشکیل ژل می‌شود. زانتان خاصیت سینرژیستی با این گروه از صمغ‌ها نظیر کتیرا دارد (Saha, 2010). وقتی که سطوح بالای صمغ در محصولات استفاده می‌شود، صمغ‌ها به شدت بر خصوصیات بافتی تأثیر می‌گذارند (Sohini et al., 2015). در این پژوهش نتایج نشان داد که در سیستم‌های حاوی زانتان، با افزودن غلظت صمغ سختی شبکه

غذایی است و میزان آن به برهم کنش های درون مولکولی اجزا فرمول بستگی دارد و از نگاهی دیگر میزانی که یک ماده می تواند تغییر شکل پیدا کند بدون اینکه بشکند (Szczesniak, 2002). تاثیر افزودن زانتان بر پیوستگی بافت ژل تولیدی کاملاً محسوس و مثبت می باشد. مقادیر پیوستگی برای نمونه های حاوی هیدروکلوئید ریحان/ زانتان نسبت به سایر نمونه ها بیشتر بدست آمد. این نتیجه نشان می دهد که نمونه حاوی مخلوط ریحان/ زانتان باعث تشکیل نمونه های با مقاومت خوبی شده است. اما استفاده از گوار به دلیل ویژگی های قوام دهنده گی خاص آن تأثیر کمتری بر پیوستگی بافت داشته و احتمالاً بیشتر موجب نگهداری آب در ساختار شده است.

فاکتور مهم بعدی حالت صمغی می باشد که از ضرب دو فاکتور سختی و پیوستگی به دست می آید (Drake et al., 1999) و برای مواد غذایی نیمه جامد به کار می رود (Nateghi et al., 2012). صمغیت نمونه حاوی ۰/۰۷۵ درصد ریحان/ زانتان ۱۷۴/۸۳ است که این فاکتور اختلاف معناداری با سایر نمونه ها دارد ($p < 0.05$). نتایج سایر پژوهشگران نشان می دهد که صمغ زانتان، تاثیر مطلوبی بر سختی، قابلیت جویدن و حالت صمغی پنیر فتای UF داشته است (Rashidi et al., 2015). مطابق با پژوهش Sohini و همکاران (۲۰۱۵) افزودن زانتان به تنهایی در غذای تخمیری حاوی کاکائو، سختی را افزایش می دهد. Morris و همکاران (۱۹۸۰) گزارش کردند که برهمکنش های هم افزایی بین گالاتومانان ها با زانتان، به علت افزایش باندهای بین مولکولی نسبت به ناسازگاری مولکولی آنها می باشد. با کاهش مقدار گالاتوز گالاتومانان ها و نیز الگوی توزیع گالاتوز بر زنجیره اصلی، توانایی آن ها در برهمکنش هم افزایی با سایر پلیمرها بهبود می یابد.

افزایش می یابد. البته برای بررسی تاثیر هم افزایی صمغ زانتان و ریحان نیاز به پژوهش های بیشتری جهت درک این اثر سینرژیستی دارد. همچنین حسینی پرور و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که زنجیره های صمغ دانه ریحان می توانند شبکه ای در سراسر ماتریس پروتئین مواد غذایی ایجاد کنند که با استفاده از آن قدرت ساختار مواد غذایی بهبود می یابد. افشارنیک و همکاران (۲۰۱۱) همچنین گزارش دادند که افزودن صمغ دانه ریحان می تواند یک شبکه ژل مانند را در سیستم های پروتئین تشکیل دهد و به همین ترتیب می تواند منجر به ساختار محکم تر محصول تولیدی شود.

سختی شاخصی از استحکام ژل است در حالی که چسبندگی نشان دهنده استحکام یا ضعف پیوند داخلی ژل ها است (Razi et al., 2018). چسبندگی کار لازم برای غلبه بر نیروی کششی ما بین سطح ماده غذایی و مواد دیگر که با غذا در تماس هستند، می باشد (Szczesniak, 2002). ماهیت صمغ گوار به دلیل داشتن گروه های هیدروکسیل، آبیگری فراوان از محیط پیرامونی و داشتن چسبندگی با سطوح مرتبط با آن است که این امر در مورد پنیر تولید شده کاملاً مشهود بوده و با افزایش غلظت گوار در حضور صمغ دانه ریحان، چسبندگی پنیر تولیدی افزایش می یابد (Turk, 2000). مشابه همین پدیده و افزایش چسبندگی در مورد زانتان نیز مشاهده شد اما مقادیر مشاهده شده برای صمغ زانتان کمتر از مقادیر مشاهده شده برای مخلوط حاوی صمغ گوار بود.

فاکتور دیگر پیوستگی است که به دیگر پارامترهای TPA همبسته نیست و ظاهراً مستقل است (Drake et al., 1999; Nateghi et al., 2012) و سختی پیوندهای داخلی را نشان می دهد. این فاکتور بالاترین میزان را در نمونه حاوی ۰/۰۷۵ درصد ریحان/ زانتان (۰/۴۸) نشان داد. پیوستگی مقاومت درونی ساختار ماده

جدول ۲- بررسی ویژگی های بافتی نمونه های مختلف پنیر

نمونه	غلظت (درصد)	سختی (g)	پیوستگی	چسبندگی (g.mm)	فتریت (mm)	صمغیت (g)
شاهد	-	۳۵۰/۳۲±۱/۹۰ ^b	۰/۴۶±۰/۰۱ ^a	۶/۴۸±۰/۸۰ ^{cd}	۱ ^a	۱۶۱/۱۴±۱/۳۰ ^b
گوار/ریحان	۰/۰۲۵	۱۹۸/۸۵±۱/۴۵ ^e	۰/۳۴±۰/۰۲ ^d	-۶/۹۵±۰/۷۴ ^{bc}	۰/۹۹ ^a	۶۷/۶۰±۱/۶۱ ^f
	۰/۰۵۰	۲۸۸/۲۶±۱/۷۴ ^c	۰/۳۹±۰/۰۲ ^c	-۸/۱۳±۰/۷۴ ^b	۱ ^a	۱۱۲/۴۲±۱/۴۱ ^d
	۰/۰۷۵	۳۶۱/۵۵±۱/۲۰ ^a	۰/۴۱±۰/۰۱ ^{bc}	-۱۲/۰۵±۰/۳۴ ^a	۰/۹۹ ^a	۱۴۸/۳۷±۳/۵۰ ^c
زانتان/ریحان	۰/۰۲۵	۲۶۰/۹۶±۰/۹۹ ^d	۰/۳۲±۰/۰۲ ^d	-۵/۲۲±۰/۱۵ ^d	۰/۹۹ ^a	۸۳/۵۰±۱/۶۰ ^e
	۰/۰۵۰	۳۵۲/۹۳±۱/۶۳ ^b	۰/۴۴±۰/۰۲ ^{ab}	-۶/۰۰±۰/۴۵ ^{cd}	۰/۹۹ ^a	۱۵۵/۲۸±۳/۱۰ ^b
	۰/۰۷۵	۳۶۴/۲۳±۰/۷۰ ^a	۰/۴۸±۰/۰۲ ^a	-۷/۲۰±۰/۴۷ ^{bc}	۰/۹۹ ^a	۱۷۴/۸۳±۱/۸۲ ^a

ارزیابی حسی

احتمالا به دلیل میزان رطوبت بالا، نتایج ارزیابی حسی پایینی داشتند و نامطلوب گزارش شدند. از لحاظ طعم نیز نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. با توجه به نتایج آنالیز بافت و ارزیابی حسی نمونه‌های مختلف پنیر حاوی هیدروکلوئید، فرمول حاوی ریحان-زانتان در غلظت ۰/۰۷۵ درصد، به دلیل داشتن بالاترین امتیاز ارزیابی حسی و ویژگی‌های مطلوب بافتی، به‌عنوان نمونه مطلوب انتخاب شد.

طبق یافته‌های جدول ۳، با مقایسه و بررسی ارزیابی حسی نمونه‌های مختلف پنیر حاوی ریحان-زانتان و گوار در مقیاس هدونیک پنج نقطه‌ای، مشخص شد که فرمول حاوی صمغ ریحان-زانتان در غلظت ۰/۰۷۵ درصد از بیشترین میزان پذیرش کلی برخوردار بوده و پس از آن فرمول حاوی ریحان-زانتان در غلظت ۰/۰۵۰ درصد قرار دارد. نمونه‌های پنیر حاوی صمغ گوار

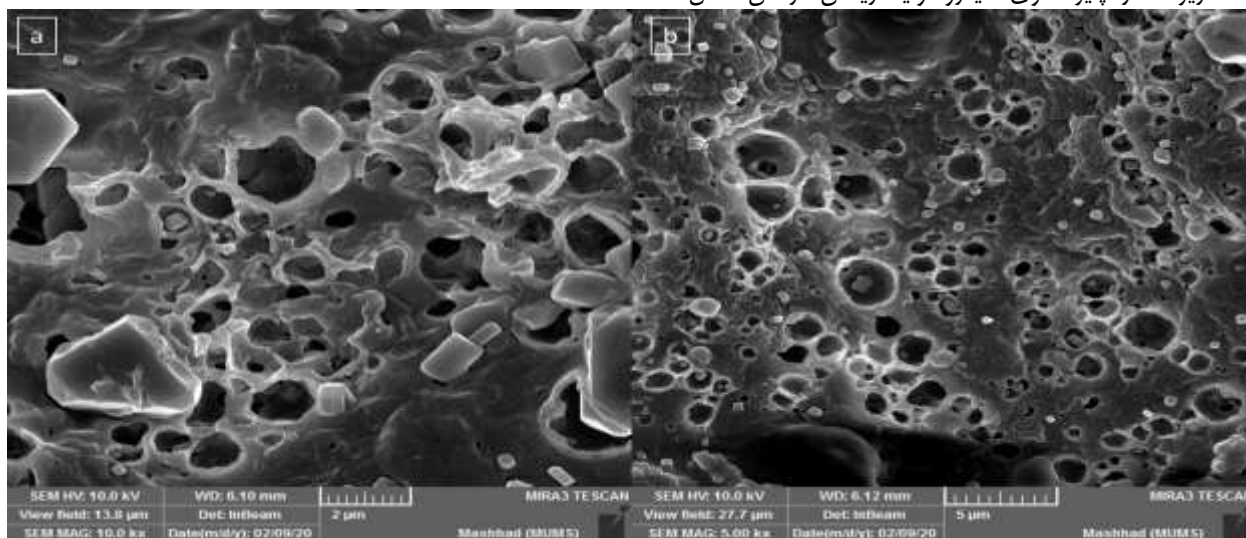
جدول ۳- ویژگی‌های حسی نمونه‌های مختلف پنیر حاوی هیدروکلوئید.

نمونه	غلظت (درصد)	عطر و طعم	بافت	رنگ	پذیرش کلی
شاهد	-	۳/۶±۰/۲ ^a	۴/۰±۰/۴ ^a	۴/۶±۰/۴ ^a	۴/۴±۰/۳ ^a
زانتان/ریحان	۰/۰۲۵	۳/۶±۰/۷ ^a	۳/۱±۰/۵ ^{ab}	۴/۶±۰/۴ ^a	۳/۳±۰/۵ ^{ab}
	۰/۰۵	۳/۷±۰/۳ ^a	۳/۴±۰/۴ ^a	۴/۴±۰/۶ ^a	۳/۹±۰/۴ ^{ab}
	۰/۰۷۵	۳/۶±۰/۵ ^a	۴/۳±۰/۶ ^a	۴/۳±۰/۵ ^a	۴/۳±۰/۵ ^a
گوار/ریحان	۰/۰۲۵	۳/۷±۰/۴ ^a	۱/۶±۰/۴ ^c	۴/۴±۰/۵ ^a	۲/۵±۰/۶ ^b
	۰/۰۵	۳/۶±۰/۵ ^a	۲/۰±۰/۴ ^{bc}	۴/۶±۰/۳ ^a	۳/۷±۰/۸ ^{ab}
	۰/۰۷۵	۳/۴±۰/۶ ^a	۳/۰±۰/۶ ^{ab}	۴/۳±۰/۷ ^a	۳/۵±۰/۴ ^{ab}

سرم‌های آب پنبی را نشان می‌دهد. هنگامی که هیدروکلوئید به ساختار پنیر افزوده می‌شود، ماتریکس پروتئین بازتر شده است. این احتمالا به این دلیل است که با افزودن هیدروکلوئید به پنیر، رطوبت آن نیز بیشتر شده و بنابراین ماتریس بازتری ایجاد خواهد شد (شکل ۱).

اندازه‌گیری ویژگی‌های ساختمانی (SEM)

استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) توانست کمک شایان برای کسب اطلاعات دقیق‌تر در مورد ساختارهای شبکه‌ای پروتئین‌ها و ترکیبات سازنده آن در اختیار محققان قرار دهد. هر نوع پنیر دارای ساختار ویژه‌ای بوده که نشان‌دهنده تأثیر حضور هیدروکلوئید ریحان/زانتان یا مواد دیگر در ساختار آن می‌باشد. در شکل ۱ ریزساختار پنیر حاوی هیدروکلوئید ریحان/زانتان محل



شکل ۱- میکروساختار پنیر سفید ایرانی حاوی هیدروکلوئید ریحان/زانتان در دو بزرگنمایی ۱۰k (a) و ۵۰k (b)

محصولات غذایی خواهند داشت که ممکن است ترکیبات غیرطبیعی در آن استفاده شده است. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی هیدروکلوئیدها بستگی به نوع ترکیبات، وزن مولکولی و ساختار شیمیایی آن دارد. اثر استفاده از مخلوط هیدروکلوئیدهای صمغ ریحان/زانتان و ریحان/گوار بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی پنیر سفید ایرانی مورد بررسی قرار گرفت. صمغ گوار تاثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های بافتی و حسی نمونه‌ها داشت به این صورت که ارزیابان حسی امتیاز پائینی برای آن در نظر گرفتند. نمونه‌های پنیری که حاوی هیدروکلوئیدهای ریحان-زانتان در غلظت ۰/۰۷۵ درصد بودند دارای ویژگی‌های بافتی و حسی مناسب بودند. در این نمونه علاوه بر حفظ ویژگی‌های کیفی، میزان سفیدی پنیر نیز حفظ شد. پارامترهای حسی نمونه پنیر حاوی هیدروکلوئیدهای ریحان-زانتان در غلظت ۰/۰۷۵ درصد کاملاً قابل رقابت با نمونه شاهد بود و ویژگی‌های بافتی مشابهی داشت. نتایج این پژوهش به خوبی بیان می‌کنند که این مخلوط هیدروکلوئیدی می‌تواند تاحدی جایگزین بهبوددهنده‌های تجاری موجود در بازار باشد و ارزش افزوده بالایی در صنایع داخلی و حتی خارجی ایجاد نماید.

تشکر و قدردانی

این طرح پژوهشی با کد ۲۳۰۹۲۰۱۲ مصوب موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، با حمایت های مالی شرکت فرآورده‌های لبنی بینالود نیشابور به انجام رسیده است. بدین وسیله نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از شرکت فرآورده‌های لبنی بینالود نیشابور صمیمانه قدردانی نمایند.

با توجه به تعادل بین آب خارج شده و نمک جذب شده در پنیر تولیدی، یک شبکه نسبتاً یکنواخت کازئین در آن‌ها مشاهده شد. شبکه کازئین، تعداد، و شکل منافذ تحت تأثیر هیدروکلوئید ریحان/زانتان قرار گرفتند. در طول تولید پنیر، وقتی هیدروکلوئید به شیر پنیرسازی اضافه شد، با جذب آب هیدراته می‌شود و بنابراین، پنیر تولیدی حاوی مقداری هیدروکلوئید هیدراته شده است. هنگامی که نمونه‌ها برای آنالیز SEM آماده شدند، رطوبت از آن‌ها جدا شد. بنابراین، اثر هیدروکلوئیدهای هیدراته به صورت حفره‌هایی مشاهده می‌شود (شکل ۱). همچنین در میکروگراف می‌توان مشاهده کرد که، ریحان و زانتان بین خوشه‌های ذرات پروتئینی در نمونه ارتباط ایجاد کرده و ساختارهای نامنظم رشته‌ای و پروتئین‌های کروی پنیر از طریق فیبریل‌های نازک در ارتباط هستند. در میکروگراف قابل شهود است که شبکه جدیدی بین آنها تشکیل شده است. این ساختار جدید فضای کافی برای به دام انداختن آب و تشکیل یک ژل مناسب را دارد (Zhang and Huang, 2014). در مورد هیدروکلوئیدهایی همچون ژل‌های ژلاتینی و سیستم‌های ترکیبی بتالاکتوگلوبولین و صمغ ریحان ساختارهای مشابه گزارش شده است (Rafe et al., 2013; Van den Berg et al., 2007).

نتیجه گیری

به جهت آنکه تقاضای مصرف کننده‌ها برای استفاده از ترکیبات طبیعی و با سازگاری زیستی روز به روز رونق بیشتری می‌یابد، کاربرد هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی به شدت رو به افزایش است. قطعاً انسان‌ها با اطمینان به یک فرآورده سالم و حاصل از منابع طبیعی، که واجد فواید بسیاری است، میل و رغبت بیشتری نسبت به مصرف سایر

منابع

- Afshar Nik, A., Amiri, Z. R., & Hosseini-Parvar, S. H. (2011). The Effect of Basil Seed Gum as a Fat Replacer on Physico-Chemical, Micro Structural and Sensory Properties of Low-Fat Set Yogurt. *Electronic J. Food Preserv. Process.(EJFPP)*, 3, 23-42.
- Aghdaei, S. A., Aelami, M., Jafari, S. M., & Mahoonak, A. S. (2011). Physicochemical and rheological properties of beta-glucan extracted from hull-less barley. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 6(4), 286-297.
- Azarnia, S., Ehsani, M. R., & Mirhadi, S. A. (1997). Evaluation of the physico-chemical characteristics of the curd during the ripening of Iranian brine cheese. *International Dairy Journal*, 7(6-7), 473-478.
- Baghdadi, F., Aminifar, M., Farhoodi, M., & Shojaee Ali Abadi, S. (2018). Study of macromolecular interactions in low-fat brined cheese modified with Zedu gum. *International journal of dairy technology*, 71(2), 382-394.
- Dogan, M., Toker, O. S., & Goksel, M. (2011). Rheological behaviour of instant hot chocolate beverage: Part 1. Optimization of the effect of different starches and gums. *Food Biophysics*, 6(4), 512-518.
- Drake, M. A., Truong, V. D., & Daubert, C. R. (1999). Rheological and sensory properties of reduced-fat processed cheeses containing lecithin. *Journal of food science*, 64(4), 744-747.
- Ghanbari Shendi, A., Khosro-Shahi Asl, A., Mortazavi, A., & Tavakoli-Pur, H. (2011). The effect of xanthan gum on textural and rheological properties of low-fat Iranian white cheese. *Journal of Food Sciences and Industries*, 33(1), 35-46.
- Hamann, D. D., Zhang, J., Daubert, C. R., Foegeding, E. A., & Diehl Jr, K. C. (2006). Analysis of compression, tension and torsion for testing food gel fracture properties. *Journal of Texture Studies*, 37(6), 620-639.

- Hesarinejad, M. A., Rafe, A., Sadeghian, A., & Sarabi Jamab, M. (2020). Fabrication of elastic gel systems of Ricotta cheese containing some hydrocolloids in stuffed olive. *Food Science and Technology*, 17(101), 81-91.
- Hojjatoleslami, M., & Azizi, M. H. (2015). Impact of tragacanth and xanthan gums on the physical and textural characteristics of gluten-free cake. *Nutrition and Food Sciences Research*, 2(2), 29-37.
- Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., & Golding, M. (2015). Effect of basil seed gum (BSG) on textural, rheological and microstructural properties of model processed cheese. *Food Hydrocolloids*, 43, 557-567.
- Koca, N., & Metin, M. (2004). Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers. *International dairy journal*, 14(4), 365-373.
- Lemay, A., Paquin, P., & Lacroix, C. (1994). Influence of microfluidization of milk on Cheddar cheese composition, color, texture, and yield. *Journal of Dairy Science*, 77(10), 2870-2879.
- Madadlou, A., Khosroshahi, A., & Mousavi, M. E. (2005). Rheology, microstructure, and functionality of low-fat Iranian white cheese made with different concentrations of rennet. *Journal of Dairy Science*, 88(9), 3052-3062.
- Madadlou, A., Khosroshahi, A., Mousavi, S. M., & Djome, Z. E. (2006). Microstructure and rheological properties of Iranian white cheese coagulated at various temperatures. *Journal of Dairy Science*, 89(7), 2359-2364.
- Metzger, L. E., Barbano, D. M., Kindstedt, P. S., & Guo, M. R. (2001). Effect of milk preacidification on low fat Mozzarella cheese: II. Chemical and functional properties during storage. *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1348-1356.
- Mistry, V. V. (2001). Low fat cheese technology. *International dairy journal*, 11(4-7), 413-422.
- Morris, E. R., Rees, D. A., Robinson, G., & Young, G. A. (1980). Competitive inhibition of interchain interactions in polysaccharide systems. *Journal of molecular biology*, 138(2), 363-374.
- Morris, E. R. (1990). Mixed polymer gels. In *Food gels* (pp. 291-359). Springer, Dordrecht.
- Nateghi, L., Roohinejad, S., Totousaus, A., Rahmani, A., Tajabadi, N., Meimandipour, A., & Manap, M. Y. A. (2012). Physicochemical and textural properties of reduced fat Cheddar cheese formulated with xanthan gum and/or sodium caseinate as fat replacers. *J. Food Agr. Environ*, 10, 59-63.
- Nattaghi, L. (2020). Influence of basil and xanthan gum on physicochemical and tissue properties of Iranian low-fat white cheese. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 12(1), 27-45.
- National Standard 760: 1349, Determination of fat content of the cheese and the cheese has melted.
- National Standard 2852: 1385, milk and its products - Determination of acidity and pH-test.
- National Standard 9188-1: 1394, the amount of protein in cheese is melted.
- National Standard 1753: 1381, Cheese and processed cheese - Determination of dry matter content (Reference method)
- Paulson, B. M., McMahon, D. J., & Oberg, C. J. (1998). Influence of sodium chloride on appearance, functionality, and protein arrangements in nonfat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 81(8), 2053-2064.
- Rafe, A., Razavi, S. M., & Farhoosh, R. (2013). Rheology and microstructure of basil seed gum and β -lactoglobulin mixed gels. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 134-142.
- Rahimi, J., Khosrowshahi, A., Madadlou, A., & Aziznia, S. (2007). Texture of low-fat Iranian white cheese as influenced by gum tragacanth as a fat replacer. *Journal of dairy science*, 90(9), 4058-4070.
- Rashidi, H., Mazaheri-Tehrani, M., Razavi, S. M. A., & Ghods-Rohany, M. (2015). Improving Textural and Sensory Characteristics of Low-Fat UF Feta Cheese Made with Fat Replacers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17 (1), 121-132.
- Razavi, S. M., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., & Khanipour, E. (2009). Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.). *International journal of food Science & Technology*, 44(9), 1755-1762.
- Razi, S. M., Motamedzadegan, A., Shahidi, A., & Rashidinejad, A. (2018). The effect of basil seed gum (BSG) on the rheological and physicochemical properties of heat-induced egg albumin gels. *Food Hydrocolloids*, 82, 268-277.
- Romeih, E. A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G., & Zerfiridis, G. K. (2002). Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. *International Dairy Journal*, 12(6), 525-540.
- Rudan, M. A., Barbano, D. M., & Kindstedt, P. S. (1998). Effect of fat replacer (Salatrim) on chemical composition, proteolysis, functionality, appearance, and yield of reduced fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 81(8), 2077-2088.
- Rudan, M. A., Barbano, D. M., Yun, J. J., & Kindstedt, P. S. (1999). Effect of Fat Reduction on Chemical Composition, Proteolysis, Functionality, and Yield of Mozzarella Cheese1. *Journal of dairy science*, 82(4), 661-672.
- Saha, D., & Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of food science and technology*, 47(6), 587-597.
- Salari, S., Zanganeh, M., Fadavi, A., & Ahmadi, Z. (2017). Effect of xanthan gum and carboxymethyl cellulose on chemical and sensory properties of cream cheese. *International Journal of Advancements in Technology*, 8(1), 175-180.

- Sattar, M. U., Sameen, A., Huma, N., & Shahid, M. (2016). Fat Mimetic Impact of Xanthan Gum on the Quality Attributes of Low Fat Mozzarella Cheese. *Transylvanian Review*, (1).
- Sheehan, J. J., Huppertz, T., Hayes, M. G., Kelly, A. L., Beresford, T. P., & Guinee, T. P. (2005). High pressure treatment of reduced-fat Mozzarella cheese: Effects on functional and rheological properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(1), 73-81.
- Sohini, R., Utpal, R., & Runu, C. (2015). Effect of hydrocolloid (xanthan gum) and storage time on overall quality of cocoa incorporated fermented food. *Int. Res. J. Biol. Sci*, 4(5), 7-14.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food quality and preference*, 13(4), 215-225.
- Turk, S. Ş., & Schneider, R. (2000). Printing properties of a high substituted guar gum and its mixture with alginate. *Dyes and Pigments*, 47(3), 269-275.
- Van den Berg, L., Van Vliet, T., Van der Linden, E., Van Boekel, M. A. J. S., & Van de Velde, F. (2007). Breakdown properties and sensory perception of whey proteins/ polysaccharide mixed gels as a function of microstructure. *Food Hydrocolloids*, 21(5-6), 961-976.
- Volikakis, P., Biliaderis, C. G., Vamvakas, C., & Zerfiridis, G. K. (2004). Effects of a commercial oat-β-glucan concentrate on the chemical, physico-chemical and sensory attributes of a low-fat white-brined cheese product. *Food research international*, 37(1), 83-94.
- Wielinga, W. C. 2000. Galactomannans. In Phillips, G. O. and Williams, P. A. (Eds), Handbook of Hydrocolloids. Chapter 8. Cambridge England: Woodhead Publishing Limited.
- Zalazar, C. A., Zalazar, C. S., Bernal, S., Bertola, N., Bevilacqua, A., & Zaritzky, N. (2002). Effect of moisture level and fat replacer on physicochemical, rheological and sensory properties of low fat soft cheeses. *International Dairy Journal*, 12(1), 45-50.
- Zhang, Y. H., & Huang, L. H. (2014). Effect of heat-induced formation of rice bran protein fibrils on morphological structure and physicochemical properties in solutions and gels. *Food Science and Biotechnology*, 23(5), 1417-1423.



Investigating the qualitative, textural and sensory characteristics of low fat Iranian white cheese containing a mixture of basil seed gum with xanthan or guar

M. A. Hesarinejad^{1*}, A. Arefkhani², A. Rafe³, F. Javidi⁴, A. R. Sadeghian¹

Received: 2020.06.22

Accepted: 2020.10.07

Introduction: Improving the texture and sensory properties of Iranian white cheese by reducing fat content is one of the most important issues that are considered both technologically and economically. Meanwhile, controlling the amount of water absorption in cheese usually causes textural problems in cheese, including the softness of the cheese texture. Therefore, this problem will be solved if the amount of water absorption in the cheese can be controlled in such a way that the resulting cheese texture does not change and even its quality improves. Currently, the demand for the use of compounds or methods to achieve this goal is increasing. Hydrocolloids are compounds that, due to their inherent nature in absorbing water and creating a mouth-feel like fat, can have a special effect on fat replacement. Therefore, creating a suitable formula in the composition of hydrocolloids can complement the qualitative improvement of cheese texture. Basil seed gum (BSG) is a native hydrocolloid that has shown good stability and emulsifier properties, making it a potential functional ingredient in the food industry. Xanthan gum (XG) is also used in food as a thickener and stabilizer, and also can acts as a gelling agent along with other gums. In this study, by creating a suitable formulation in the use of these hydrocolloids, an attempt is made to improve the texture and sensory properties of cheese.

Materials and methods: The effect of different concentrations of mixed-hydrocolloids based on XG/BSG, and Guar gum (GG)/BSG on the textural attributes of Iranian white cheese was investigated. Four cheese treatments (without hydrocolloids or with 0.25, 0.5, or 0.75 g/kg of milk) were produced to study the effects of hydrocolloid content on the textural properties of the product. Cheese samples were analyzed with respect to physicochemical, color, sensory characteristics, textural properties, and microstructure.

Results and discussion: The results showed that the higher concentration of hydrocolloids from 0 to 0.075% used, the higher the increase in the moisture content of cheese samples. The results also showed that samples containing GG had higher moisture content than samples containing XG, which is probably due to the higher water absorption capacity of GG than XG. Increasing the concentration of hydrocolloids reduces the fat in the sample, which is due to the absorption and retention of more water in the cheese due to the hydrophilic properties of hydrocolloids. Samples containing GG had a lower fat content than samples containing XG. As the concentration of hydrocolloids increased, lightness increased, indicating the effect of hydrocolloids on the increase in whey cavities. The results also showed more lightness of XG samples than GG samples. Samples containing XG were more rigid, possibly confirming that this hydrocolloid has a greater effect than a mixture containing GG in the strength of the cheese and the effect of the GG is merely thickening. With the increase in the concentration of BSG/XG (from 0.025 to 0.075%), the hardness increased from 260.96 to 364.23 g. The springiness of all samples also ranged from 0.99 to 1 mm, indicating good reversible behavior. It was found that the formula containing BSG/XG at a concentration of 0.50% had the highest overall acceptance after the sample containing BSG/XG at a concentration of 0.075%. Samples containing gum had low sensory evaluation results, possibly due to high moisture content, and were reported to be undesirable. In terms of taste, the samples did not differ significantly from each other. According to the results of textural analysis and sensory evaluation, the formula containing BSG/XG at 0.075% concentration, due to having the highest score of sensory evaluation and desirable textural characteristics, was selected as the optimal sample. In the microstructure of the desired cheese sample, the location of the whey serum has been determined. By adding hydrocolloid to the cheese, the protein matrix opens. When the sample was prepared for SEM analysis, the moisture was removed. Therefore, the effect of hydrated hydrocolloid was observed in the form of cavities. This structure has enough space to trap water and form a suitable gel.

Keywords: Iranian white cheese; Basil seed gum; Xanthan; Guar; Quality characteristics.

1 and 3. Assistant Professor and Associate Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran

2. Quality Control Manager, Binalood Dairy Company, 21th km Neyshabour-Mashhad road, Neyshabour, Iran

4. PhD, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

(*Corresponding Author Email: ma.hesarinejad@gmail.com)



مقاله پژوهشی

بررسی فرآیند خشک شدن موسیلاژ دانه مرو (*Salvia macrosiphon* L.) با اشعه فرسرخ

غزاله امینی^۱ - فخرالدین صالحی^{۲*} - مجید رسولی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

چکیده

دانه‌های مرو دارای مقادیر قابل توجهی صمغ با خواص عملکردی مناسب هستند که بعد از استخراج از دانه‌ها (موسیلاژ) و خشک کردن، می‌توانند در فرمولاسیون محصولات مختلف استفاده شوند. در این مطالعه جهت خشک کردن موسیلاژ دانه مرو، از روش پرتودهی فرسرخ استفاده گردید. اثر توان لامپ فرسرخ (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات)، فاصله نمونه از لامپ (۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر) و ضخامت موسیلاژ (۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ سانتی‌متر) بر سینتیک خشک شدن موسیلاژ دانه مرو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک کردن موسیلاژ دانه مرو با روش فرسرخ نشان داد با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی، زمان خشک کردن کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ‌ها از ۴ به ۱۲ سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو از ۷۲/۰۴ دقیقه به ۱۶۰/۸۱ دقیقه افزایش یافت. با افزایش ضخامت نمونه‌ها از ۰/۵ به ۱/۵ سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو از ۵۵/۵۹ دقیقه به ۱۷۳/۶۷ دقیقه افزایش یافت. این فرآیند توسط یک شبکه عصبی مصنوعی با چهار ورودی (زمان پرتودهی، توان لامپ، فاصله لامپ و ضخامت) و ۲ خروجی (مقدار رطوبت (MC) و نسبت رطوبت (MR)) مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۸ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی می‌تواند مقدار رطوبت و نسبت رطوبت موسیلاژ دانه مرو طی خشک کردن در سامانه فرسرخ را در زمان‌های مختلف پیشگویی نماید ($R^2=0/974$) برای مقدار رطوبت و $R^2=0/997$ برای نسبت رطوبت).

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، صمغ، مقدار رطوبت، نسبت رطوبت.

مقدمه

سینتیک خشک شدن و قابلیت جذب آب مجدد برش‌های سیب‌زمینی شیرین را مورد بررسی قرار داد. در این بررسی از چهار سطح توان تابشی ۱۰۴، ۱۲۵، ۱۴۶ و ۱۶۷ وات و سه ضخامت ورقه ۳، ۵ و ۸ میلی‌متر استفاده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تابش اشعه فرسرخ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر تأثیر توان لامپ پرتودهی، دمای هوای داغ و ضخامت نمونه‌ها بر زمان و سینتیک خشک شدن در طی خشک شدن کدوخلوایی در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط حسینی‌قابوس و همکاران (۲۰۱۶) بررسی شده و توان ۲۷۲ وات، دمای ۷۵ درجه سلسیوس و ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر به‌عنوان بهترین شرایط خشک کردن کدوخلوایی گزارش شده است. خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها (صمغ‌ها) شامل حفظ و بهبود بافت محصولات غذایی (مانند کیک اسفنجی، ماست و سس مایونز)، غلیظ‌کنندگی، تشکیل ژل و فیلم، تثبیت کف، امولسیون‌کنندگی و ایجاد دیسپرسیون‌ها می‌باشد (Salehi, 2019a, b). با توجه به اهمیت و کاربرد هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی و قیمت بالای این محصولات، توجه به صمغ‌های گیاهی و بومی افزایش یافته و در ایران به دلیل

یکی از روش‌های خشک کردن مواد غذایی، استفاده از تابش فرسرخ است که باعث افزایش سرعت خشک کردن، حفظ کیفیت محصول نهایی و کاهش هزینه‌های فرآیند به دلیل کاهش مصرف انرژی می‌شود. جذب اشعه فرسرخ توسط مولکول‌های محصول سبب گرم شدن سریع آنها و همچنین سبب کاهش تنش‌های حرارتی در محصول و در نتیجه، حفظ کیفیت و افزایش راندمان فرآیند می‌شود (Salehi, 2020c). پرتودهی با فرسرخ در مقایسه با روش‌های حرارت‌دهی متداول دارای مزایای متعددی بوده و کیفیت محصول خشک شده در آن بالاتر است. در این روش زمان فرایند کوتاه‌تر و میزان مصرف انرژی کمتر می‌باشد. Hebbbar و همکاران (۲۰۰۴) از یک خشک‌کن ترکیبی فرسرخ با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، فرسرخ به‌تنهایی و هوای داغ به‌تنهایی برای خشک کردن سیب‌زمینی و هویج استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده حاکی از کاهش زمان خشک شدن و کاهش انرژی مصرفی در خشک‌کن ترکیبی نسبت به فرسرخ و هوای داغ بود. Doymaz (۲۰۱۲) در پژوهشی اثر تابش فرسرخ بر

(Email: F.Salehi@Basu.ac.ir)

(*) - نویسنده مسئول:

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار،
دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

وجود منابع گیاهی، پژوهشگران به فکر جایگزینی صمغ‌های گیاهی با نمونه‌های تجاری هستند. دانه مرو (*Salvia macrosiphon* L.) دارای مقادیر قابل توجهی صمغ با خواص عملکردی مناسب هستند و افزودن آنها به فرمولاسیون مواد غذایی باعث بهبود خواص حسی و کیفی بافت محصول نهایی می‌شود. این دانه‌ها هنگامی که داخل آب قرار می‌گیرند، سریعاً متورم شده و مقدار زیادی موسیلاژ (صمغ محلول در آب) ایجاد می‌کنند (Zameni et al., 2015). به دلیل فعالیت آبی بالای موسیلاژ استخراج شده از دانه‌های گیاهی و دارا بودن شرایط مساعد برای رشد میکروارگانیسم‌ها، می‌بایست این دیسپرسیون بعد از استخراج سریع خشک شود تا علاوه بر جلوگیری از فساد و افزایش زمان ماندگاری، با کاهش وزن، در هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری صرفه‌جویی حاصل گردد. لذا محققان روش‌های مختلفی را برای خشک کردن این موسیلاژ مورد بررسی قرار داده‌اند تا به یک محصول با کیفیت بالا دست یابند (Amid and Mirhosseini, 2012; Wang et al., 2009). برای خشک کردن موسیلاژ استخراج شده از دانه‌های گیاهی از روش‌های مختلفی شامل استفاده از خشک‌کن‌های هوای داغ، بستریال، مایکروویو، انجمادی، تحت خلأ و پاششی استفاده شده است (Amid and Mirhosseini, 2012; Cunha et al., 2000; Nep and Conway, 2011; Salehi and Kashaninejad, 2014; Sundaram and Durance, 2008). برای مثال Nep و Conway (۲۰۱۱) گزارش کردند که روش خشک کردن صمغ گروپا باعث تغییر خصوصیات محصول خشک شده می‌شود. همچنین صمغ خشک شده توسط هوای داغ نسبت به روش‌های خشک کردن انجمادی و پاششی ویسکوزیته بیشتری داشته است. همچنین عمید و میرحسینی (۲۰۱۲) اثر روش‌های خشک کردن شامل هوای داغ، انجمادی، پاششی و تحت خلأ را بر خصوصیات صمغ دانه Durian بررسی کرده‌اند. نتایج این محققان نشان داد که روش خشک کردن تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌ها و رنگ صمغ دارد.

به منظور مدل‌سازی فرآیندهای فرآوری مواد غذایی از قبیل خشک کردن و پیشگویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها از روش‌ها و معادلات مختلفی استفاده شده است (Salehi, 2020b). مدل‌سازی فرآیندهای خشک کردن برای طراحی، بهبود سیستم‌های موجود و حتی کنترل فرآیند انجام می‌شود. روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)^۱ به عنوان روشی مناسب جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای فرآیندهای مختلف اعمال شده بر مواد غذایی مطرح است. شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند. توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی به ساختار آن وابستگی کامل دارد (نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان). تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان شبکه‌های عصبی مصنوعی به وسیله

آزمون و خطا انجام می‌شود. برای مثال مدل‌سازی صالحي و همکاران (۲۰۱۵) به منظور پیشگویی کاهش وزن، کاهش آب و جذب مواد جامد، در طی خشک کردن اسمزی زردآلو، از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. نتایج این محققان نشان داد که بهترین مدل برای پیشگویی پارامترهای فوق دارای ۱ لایه پنهان و ۱۴ نرون در هر لایه می‌باشد. فرآیند خشک شدن همرفتی سیر به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط رسولی (۲۰۱۸) بررسی و برای این منظور شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه تحت عنوان پس انتشار پیشرو به کار گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار رطوبت سیر را می‌توان با استفاده از شبکه عصبی، با میانگین خطای متوسط کمتر و ضریب تبیین بیشتر نسبت به مدل ریاضی ویل پیش‌بینی کرد. با توجه به بررسی منابع منتشر شده مشخص شد که تاکنون پژوهشی در خصوص مدل‌سازی فرآیند خشک کردن موسیلاژ دانه مرو در خشک‌کن فروسرخ صورت نگرفته است. لذا هدف این پژوهش بررسی اثر زمان پرتودهی، ضخامت نمونه، توان لامپ پرتودهی و فاصله لامپ از نمونه بر خشک کردن موسیلاژ و مدل‌سازی فرآیند با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

فرآیند خشک کردن

در این پژوهش دانه مرو از استان همدان تهیه و ناخالصی آن‌ها کاملاً جداسازی گردید. جهت استخراج موسیلاژ، ابتدا دانه‌های مرو به مدت ۲۰ دقیقه درون آب با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در محدوده pH برابر ۷ و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ قرار گرفتند. سپس جهت جدا کردن صمغ خارج شده از دانه‌ها، از دستگاه ایمیوگیری (M-J-376-N, Nikko Electric Industry Company، ایران) استفاده شد. برای هر مرحله از خشک کردن، موسیلاژ تازه استخراج و به خشک‌کن منتقل شد. در مرحله بعدی موسیلاژ استخراج شده درون ظروف مخصوص خشک کردن با سامانه فروسرخ با ارتفاع‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ سانتی‌متر ریخته شده و درون خشک‌کن قرار گرفت. میانگین رطوبت اولیه موسیلاژ استخراج شده ۹۹/۴٪ به دست آمد.

جهت خشک کردن موسیلاژ استخراج شده با خشک‌کن فروسرخ از متغیرهایی شامل توان‌های لامپ فروسرخ (Infrared Heat Lamp, Noor Lamp Company، ایران) در سه سطح ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات و فاصله لامپ از نمونه در سه سطح ۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی (Digital balance, Lutron GM-300p، تایوان) با دقت ± 0.01 گرم که در داخل خشک‌کن تعبیه شده بود، ثبت گردید. میزان کاهش وزن (WR)^۲، از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

میانگین در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرآیند خشک کردن موسیلاژ دانه مرو به روش فروسرخ جهت پیشگویی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت طی زمان خشک کردن به روش شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی سه لایه (یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی) پرسپترون پیشخور انجام پذیرفت (Salehi and Razavi, 2012) (شکل ۱).

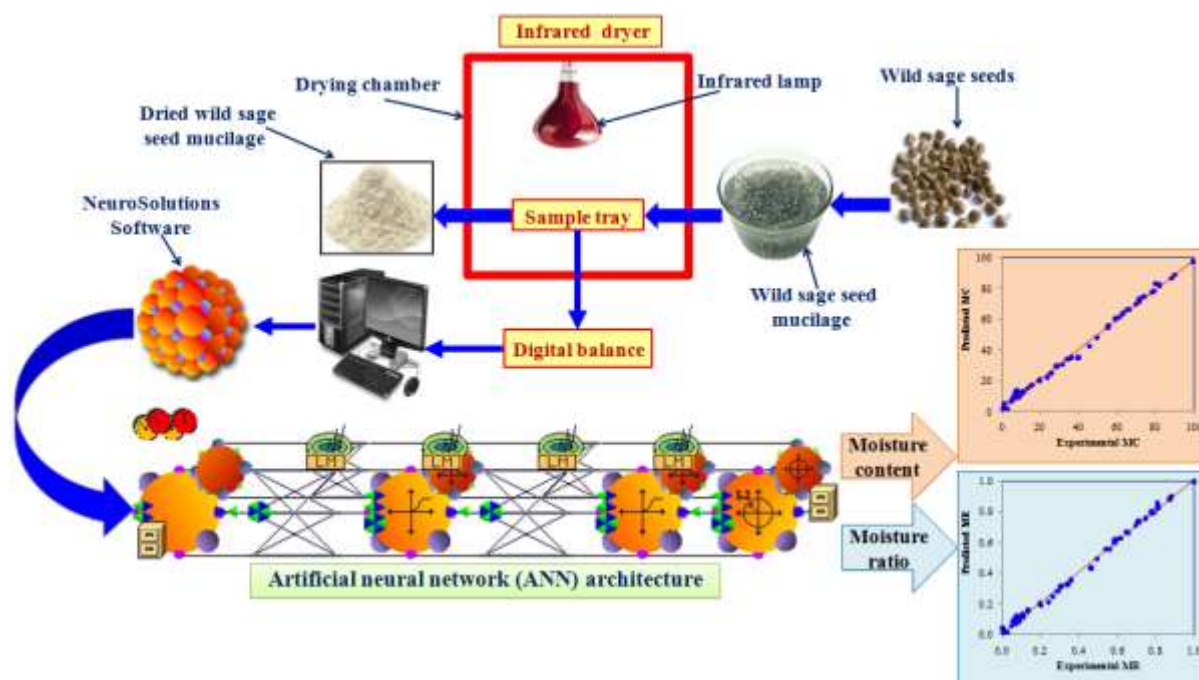
$$WR = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

WR: درصد کاهش وزن موسیلاژ

M_0 : جرم اولیه نمونه (g)

M_t : جرم نمونه (g) بعد از خشک شدن بعد از زمان t

کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. تجزیه و تحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد. مقایسه



شکل ۱- شماتیک مدل‌سازی فرآیند خشک کردن موسیلاژ دانه مرو با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

(Salehi and Razavi, 2016): تعداد نرون لایه پنهان (۲۵-۱)، تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لیونبرگ-مارکت^۴، بهترین ساختار^۵ شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد. به‌منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پی‌شگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی^۶ استفاده گردید. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۳۵ درصد داده‌ها برای آموزش^۷ استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. ۱۵ درصد

در این مطالعه چهار ورودی (زمان پرتودهی، توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت نمونه) و دو خروجی (مقدار رطوبت و نسبت رطوبت) در نظر گرفته شد. تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه دارد و در این مطالعه تعداد نرون لایه پنهان بین ۲ تا ۱۴ در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن^۱ (ورژن ۶) جهت مدل‌سازی استفاده شد. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (خطی، سیگموئیدی^۲ (رابطه ۲) (Salehi and Razavi, 2012) و تانژانت هیپربولیک^۳ (رابطه ۳))

4 Levenberg-Marquardt (LM)

5 Topology

6 Correlation coefficient (r)

7 Training data

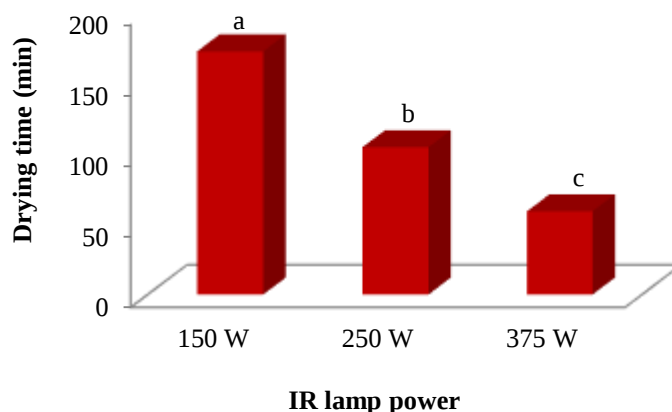
1 Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA

2 Sigmoid functions

3 Hyperbolic tangent function

نتایج و بحث خشک کردن

جهت بررسی اثر توان لامپ فروسرخ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو، از سه لامپ فروسرخ با توان های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات استفاده گردید. با افزایش دمای هوای خشک کن با افزایش توان لامپ پرتو دهی و کاهش فاصله آن، آنتالپی هوا افزایش یافته و افزایش آنتالپی میزان انتقال جرم و حرارت افزایش می یابد که باعث کاهش زمان خشک شدن می شود (Nimmol, 2010; Pan et al., 2008). نتایج نشان داد که تغییر توان لامپ اثر معنی داری ($P < 0.05$) بر خروج آب از موسیلاژ دانه مرو دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می یابد. همان طور که در شکل ۲ ملاحظه می شود، به طور میانگین با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، زمان خشک شدن از ۱۷۲/۰۴ دقیقه به ۵۸/۹۳ دقیقه (حدود ۶۵/۷۵ درصد) کاهش یافته است.



شکل ۲- تاثیر توان لامپ فروسرخ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو

در شکل ۴ اثر ضخامت موسیلاژ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو درون خشک کن فروسرخ به نمایش در آمده است. همان طور که ملاحظه می شود با کاهش ضخامت نمونه ها از ۱/۵ به ۰/۵ سانتی متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو از ۱۷۳/۶۷ دقیقه به ۵۵/۵۹ دقیقه (حدود ۶۷/۹۹ درصد) کاهش یافت. افزایش دمای سطح محصول منجر به افزایش تحرک مولکول های آب و در نتیجه مهاجرت آسان تر این مولکول ها از بخش های داخلی به سطح محصول می شود. افزایش دما از یک طرف باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوا و محصول شده و از طرف دیگر باعث گرم شدن سریع تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن می شود و در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می گردد (Doymaz and Pala, 2003). Sharma و همکاران (۲۰۰۵) بیان

داده ها هم برای آزمون^۱ (اعتبارسنجی) شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی^۲ شبکه هم از باقی مانده داده ها (۵۰ درصد) استفاده گردید.

$$Sig = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

$$Tanh = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3)$$

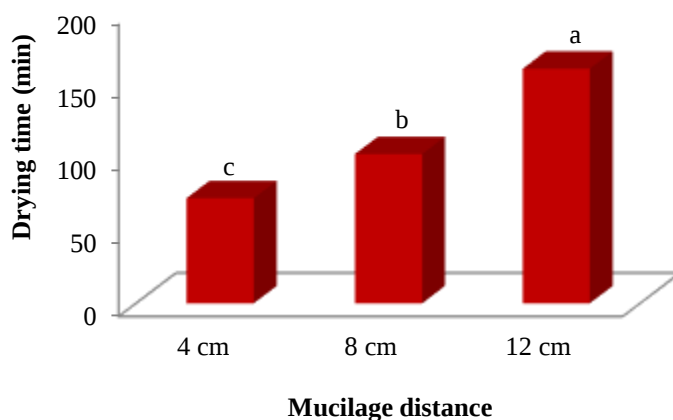
تجزیه و تحلیل آماری داده ها

کلیه آزمایش ها در سه تکرار انجام گرفت. ارزیابی یافته ها با طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از برنامه اکسل ۲۰۰۷ و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS 9.1 در سطح معنی داری ۵٪ استفاده شد.

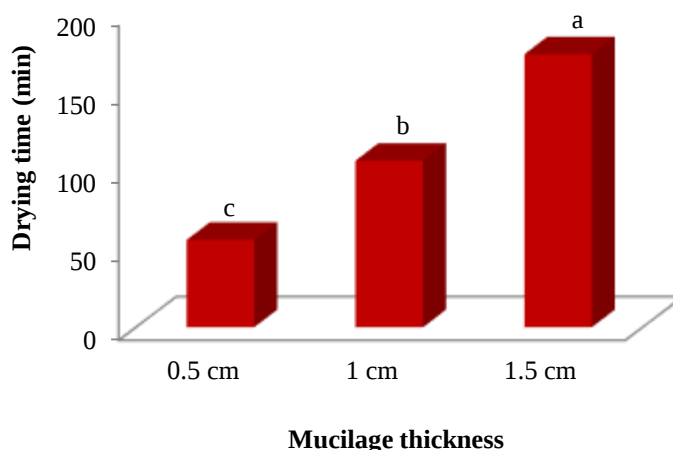
نتایج حکایت از معنی دار بودن ($P < 0.05$) اثر تغییر فاصله لامپ از نمونه ها، بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو دارد و با افزایش فاصله لامپ، زمان خشک شدن افزایش یافت (شکل ۳). با کاهش فاصله لامپ ها از ۱۲ به ۴ سانتی متر، به طور میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو از ۱۶۰/۸۱ دقیقه به ۷۲/۰۴ دقیقه (حدود ۵۵/۲۰ درصد) کاهش یافت. فدایی و همکاران (۲۰۲۰) ویژگی های خرمالو خشک شده با استفاده از خشک کن فروسرخ و مدل سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که توان لامپ پرتو دهی و فاصله لامپ از نمونه تاثیر معنی داری بر سینتیک افت رطوبت و زمان خشک کردن دارند. همچنین با افزایش توان پرتو دهی و همچنین کاهش فاصله نمونه ها از منبع پرتو دهی، زمان خشک کردن کاهش یافت.

دمای هوا از ۳۵ به ۴۵ درجه سلسیوس و افزایش سرعت جریان هوا از یک به ۱/۵ متر بر ثانیه، زمان خشک شدن ۲/۵ برابر کاهش پیدا کرد

نمودند در خشک کردن لایه نازک قطعات پیاز با استفاده از خشک کن فروسرخ و هوای داغ، با تغییر توان فروسرخ از ۳۰۰ به ۵۰۰ ولت، افزایش



شکل ۳- تاثیر فاصله موسیلاژ از لامپ فروسرخ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو



شکل ۴- تاثیر ضخامت موسیلاژ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو

ارزیابی، نتایج مربوط به هر یک از این شبکه‌ها در جدول ۱ گزارش گردید. در این جدول مقادیر میانگین خطای مربعات (MSE)؛ میانگین خطای مربعات نرمال شده (NMSE)؛ میانگین خطای مطلق (MAE)؛ حداقل خطای مطلق (MinE)؛ حداکثر خطای مطلق (MaxE) و ضریب همبستگی (r) برای ۲ تا ۱۴ نرون استفاده شده در ساختار شبکه عصبی مصنوعی گزارش شده است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود، شبکه عصبی مصنوعی دارای ۸ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت در طی فرآیند خشک کردن موسیلاژ دانه مرو به روش فروسرخ را پیشگویی نماید ($r=0.974$ برای مقدار رطوبت و $r=0.997$ برای نسبت رطوبت).

نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

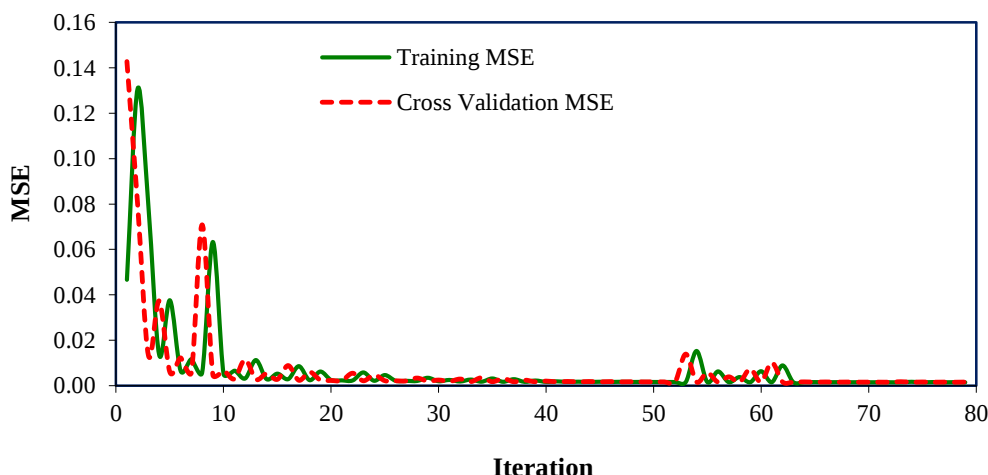
به‌منظور پیشگویی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت موسیلاژ دانه مرو در طی خشک کردن به روش فروسرخ از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. زمان پرتودهی، توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت موسیلاژ به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و مقدار رطوبت و نسبت رطوبت به‌عنوان خروجی‌های شبکه انتخاب گردیدند. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی سیگموئیدی به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. برای تعیین تعداد نرون‌های لایه پنهان، به‌ترتیب تعداد نرون‌ها از ۲ تا ۱۴ انتخاب و برای هر یک شبکه‌ای طراحی و بعد از آموزش و

میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد که این از ویژگی‌های شناخته شده روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکت می‌باشد (Bahramparvar et al., 2014).

مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۵ به نمایش درآمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۶۴ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد. کاهش سریع در نمودار

جدول ۱- مقادیر خطای محاسبه شده توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت

تعداد نرونها	مقدار رطوبت						نسبت رطوبت					
	MSE	NMSE	MAE	MinE	MaxE	r	MSE	NMSE	MAE	MinE	MaxE	r
۲	۱۶۹/۰۲۴	۰/۱۵۱	۸/۵۹۴	۰/۰۰۳	۹۶/۹۳۷	۹۲۲/۰	۰/۰۱۴	۰/۱۲۰	۰/۰۸۳	۰/۰۰۰	۰/۷۱۲	۰/۹۳۸
۳	۷۴/۳۰۳	۰/۰۶۶	۴/۱۰۲	۰/۰۰۱	۱۰۰/۲۵۰	۹۶۶/۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۳۵	۰/۰۰۰	۰/۲۶۱	۰/۹۸۹
۴	۶۸/۹۱۹	۰/۰۶۲	۳/۶۰۲	۰/۰۰۶	۱۰۰/۱۳۲	۹۶۹/۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۱	۰/۹۹۲
۵	۶۲/۸۸۸	۰/۰۵۶	۲/۸۷۶	۰/۰۰۰	۱۰۰/۵۶۵	۹۷۲/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰	۰/۱۸۵	۰/۹۹۵
۶	۶۱/۰۸۶	۰/۰۵۵	۲/۸۴۳	۰/۰۰۳	۱۰۲/۴۰۴	۹۷۲/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰	۰/۱۹۸	۰/۹۹۵
۷	۵۹/۸۵۴	۰/۰۵۳	۲/۳۱۵	۰/۰۰۰	۱۰۱/۴۹۲	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۱۸۷	۰/۹۹۷
۸	۵۸/۳۶۵	۰/۰۵۲	۲/۰۹۲	۰/۰۰۰	۱۰۰/۷۳۹	۹۷۴/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۱۹۰	۰/۹۹۷
۹	۵۹/۱۱۸	۰/۰۵۳	۲/۲۷۹	۰/۰۰۲	۱۰۰/۳۰۲	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۲۲۳	۰/۹۹۷
۱۰	۵۹/۴۵۲	۰/۰۵۳	۲/۲۵۹	۰/۰۰۲	۱۰۰/۰۷۶	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	۰/۱۹۷	۰/۹۹۷
۱۱	۵۹/۰۵۲	۰/۰۵۳	۲/۲۵۷	۰/۰۰۰	۱۰۰/۸۰۶	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۱۸۹	۰/۹۹۷
۱۲	۶۰/۱۴۱	۰/۰۵۴	۲/۱۵۸	۰/۰۰۰	۱۰۰/۹۵۴	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۱۹۵	۰/۹۹۷
۱۳	۵۸/۸۵۱	۰/۰۵۳	۲/۰۹۶	۰/۰۰۱	۹۹/۰۱۶	۹۷۲/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۲۱۰	۰/۹۹۷
۱۴	۵۹/۵۹۰	۰/۰۵۳	۲/۰۶۹	۰/۰۰۲	۱۰۰/۹۱۷	۹۷۰/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۲۰۸	۰/۹۹۷



شکل ۵- مقادیر میانگین خطای مربعات (MSE) به‌عنوان تابعی از تعداد سیکل‌های یادگیری در طول آموزش و آزمون

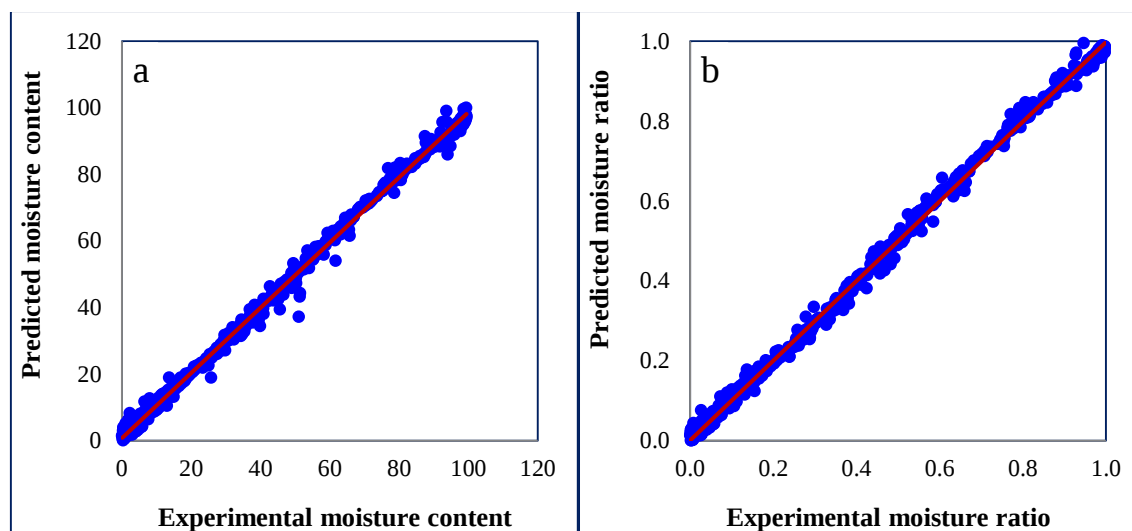
ساختارهای مختلف شبکه عصبی چند لایه پرسپترون برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آبیگری شده را مورد آزمون قرار دادند و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان به‌خوبی درصد کاهش وزن ($R^2=0/98$)، درصد کاهش آب ($R^2=0/97$) و مقدار جذب مواد جامد ($R^2=0/96$) در طی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی نماید. این مدل می‌تواند به‌منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۵۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده مقدار رطوبت و نسبت رطوبت طی فرآیند خشک شدن مو سیلاژ دانه مرو توسط شبکه عصبی بهینه ($4/8/2$) در شکل ۶ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. صالحی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مدل سازی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند.

استفاده برای تربیت / آزمون / ارزیابی برابر ۶۰/۲۰/۲۰ می‌توان به‌خوبی سینتیک خشک کردن خرمالو را پیشگویی نمود.

هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۲، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۸ نرون در لایه پنهان آورده شده است.

بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد (Salehi et al., 2015). فدایی و همکاران (۲۰۲۰) ویژگی‌های خرمالو خشک شده با استفاده از خشک‌کن فروسرخ و مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان‌داد که با استفاده از شبکه‌ای با تعداد ۱۵ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک و در صد داده‌های مورد



شکل ۶- داده‌های آزمایشگاهی مقدار رطوبت (a) و نسبت رطوبت (b) در برابر مقادیر پیش‌بینی شده

جدول ۲- داده‌های وزن و بایاس شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده (۲-۸-۴)

نرون‌های پنهان	بایاس	نرون‌های ورودی				نرون‌های خروجی	
		زمان (دقیقه)	توان (وات)	فاصله (سانتی‌متر)	ضخامت (سانتی‌متر)	مقدار رطوبت	نسبت رطوبت
۱	۲/۸۲۷۸	۱۹/۸۸۲۸	-۳۲/۴۰۵۶	-۱۴/۹۱۸۰	-۱/۲۸۵۰	۱/۰۸۳۴	-۲۸/۵۰۹۱
۲	۰/۴۳۷۶	۱۲/۸۷۸۳	-۱/۲۴۴۷	۱/۷۳۱۲	۱/۹۲۹۷	۲۳/۷۱۱۱	-۶/۴۰۵۰
۳	۱/۶۴۱۱	-۲/۲۶۸۰	-۲/۱۴۳۸	۴/۰۳۹۰	۱/۴۲۴۵	-۲۲/۳۱۸۶	۲۱/۳۴۴۷
۴	۹/۹۷۲۷	۳/۵۲۷۱	۰/۴۶۷۸	-۱۲/۷۵۴۸	۱/۷۵۰۸	-۱۰/۹۹۷۵	۱/۰۵۳۴
۵	-۲/۴۱۶۱	۳/۷۰۱۲	۰/۸۰۱۹	۱/۸۸۰۲	۱/۱۱۲۹	۱/۱۷۵۰	-۳۰/۳۹۳۸
۶	-۱/۴۱۰۳	۱/۹۵۱۹	۰/۶۹۵۰	۰/۱۰۹۸	۲/۱۴۷۱	۲۵/۰۷۱۵	-۶/۶۶۰۸
۷	-۱/۲۰۴۸	-۱/۴۶۸۳	-۲/۰۳۰۷	-۳/۴۱۰۶	۲/۱۹۰۹	-۲۳/۰۳۵۱	۲۲/۱۵۸۴
۸	۲/۲۴۷۰	-۲۶/۰۴۸۲	-۱/۱۹۲۹	۴/۸۲۰۲	۱۰/۸۶۵۷	-۱۱/۲۷۴۸	۱/۰۴۴۵
بایاس						۹/۵۶۰۸	۱۰/۱۸۲۸

بودند. با افزایش توان لامپ فروسرخ و کاهش فاصله نمونه از لامپ، مقدار رطوبت خارج‌شده از نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن کاهش یافت. مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت به‌عنوان تابعی از زمان پرتودهی، توان لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت موسیلاژ دانه مرو (ورودی‌های شبکه)

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر زمان پرتودهی، توان لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت بر خشک‌کردن موسیلاژ دانه مرو به روش فروسرخ مورد بررسی قرار گرفت. سه متغیر اصلی ذکر شده (توان لامپ، فاصله لامپ و ضخامت نمونه) بر مقدار خروج آب و زمان خشک شدن مؤثر

در طی خشک کردن به روش فروسرخ استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه‌ای دارای ۸ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی در لایه پنهان و خروجی، و با استفاده از روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت، به‌خوبی قادر به پیشگویی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت با ضریب همبستگی بالا ($r=0/974$) برای مقدار رطوبت و $r=0/997$ برای نسبت رطوبت) می‌باشد.

منابع

- Aktaş, M., Sözen, A., Amini, A., Khanlari, A. 2017. Experimental analysis and CFD simulation of infrared apricot dryer with heat recovery. *Drying Technology*, 35(6), 766-783.
- Amid, B.T., Mirhosseini, H. 2012. Influence of different purification and drying methods on rheological properties and viscoelastic behaviour of durian seed gum. *Carbohydrate Polymers*, 90(1), 452-461.
- Bahramparvar, M., Salehi, F., Razavi, S. 2014. Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 1080-1088.
- Cunha, R.L., Maialle, K.G., Menegalli, F.C. 2000. Evaluation of the drying process in spouted bed and spout fluidized bed of xanthan gum: focus on product quality. *Powder Technology*, 107(3), 234-242.
- Doymaz, İ. 2012. Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices. *Journal of Food Science and Technology*, 49(6), 760-766.
- Doymaz, I., Pala, M. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*, 60(2), 125-130.
- Fadaie, M., Hosseini Ghaboos, S.H., Beheshti, B. 2020. Characterization of dried persimmon using infrared dryer and process modeling using genetic algorithm-artificial neural network method. *Journal of Food Science and Technology*, 17(100), 189-199.
- Hebbbar, H.U., Vishwanathan, K., Ramesh, M. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 557-563.
- Hosseini Ghaboos, S.H., Seyedain Ardabili, S.M., Kashaninejad, M., Asadi, G., Aalami, M. 2016. Changes in the physico-chemical and engineering parameters of pumpkin (*C. moschata*) with infrared drying method. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 8(8), 93-102.
- Nep, E.I., Conway, B.R. 2011. Physicochemical characterization of grewia polysaccharide gum: Effect of drying method. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 446-453.
- Nimmol, C. 2010. Vacuum far-infrared drying of foods and agricultural materials. The Journal of the King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 20, 37-44.
- Pan, Z., Shih, C., McHugh, T.H., Hirschberg, E. 2008. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1944-1951.
- Rasouli, M. 2018. Convective drying of garlic (*Allium sativum* L.): Artificial neural networks approach for modeling the drying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 14(3), 53-62.
- Salehi, F. 2017. Rheological and physical properties and quality of the new formulation of apple cake with wild sage seed gum (*Salvia macrosiphon*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 2006-2012.
- Salehi, F. 2019a. Characterization of new biodegradable edible films and coatings based on seeds gum: A review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3(2), 193-201.
- Salehi, F. 2019b. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. *Food science & nutrition*, 7(11), 3391-3402.
- Salehi, F. 2020a. Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: A review. *International Journal of Fruit Science*, 1(1), 1-20.
- Salehi, F. 2020b. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 506-520.
- Salehi, F. 2020c. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 586-602.
- Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., Godarzi, M. 2015. Apricot osmotic drying modeling using genetic algorithm - artificial neural network. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 7(1), 65-76.
- Salehi, F., Kashaninejad, M. 2014. Effect of different drying methods on rheological and textural properties of balangu seed gum. *Drying Technology*, 32(6), 720-727.
- Salehi, F., Kashaninejad, M. 2017. Effect of drying methods on textural and rheological properties of basil seed gum. *International Food Research Journal*, 24(5), 2090-2096.
- Salehi, F., Razavi, S.M.A. 2012. Dynamic modeling of flux and total hydraulic resistance in nanofiltration treatment of regeneration waste brine using artificial neural networks. *Desalination and Water Treatment*, 41(1-3), 95-104.
- Salehi, F., Razavi, S.M.A. 2016. Modeling of waste brine nanofiltration process using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Desalination and Water Treatment*, 57(31), 14369-14378.
- Sharma, G., Verma, R., Pathare, P. 2005. Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of food engineering*, 71(3), 282-286.

- Sundaram, J., Durance, T.D. 2008. Water sorption and physical properties of locust bean gum–pectin–starch composite gel dried using different drying methods. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1352-1361.
- Wang, Y., Wang, L.-J., Li, D., Xue, J., Mao, Z.-H. 2009. Effects of drying methods on rheological properties of flaxseed gum. *Carbohydrate Polymers*, 78(2), 213-219.
- Zameni, A., Kashaninejad, M., Aalami, M., Salehi, F. 2015. Effect of thermal and freezing treatments on rheological, textural and color properties of basil seed gum. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5914-5921.
- Zhang, Y., Wang, S., Ji, G., Phillips, P. 2014. Fruit classification using computer vision and feedforward neural network. *Journal of Food Engineering*, 143, 167-177.



Investigation of wild sage seed mucilage drying process (*Salvia macrosiphon* L.) with infrared radiation

Gh. Amini¹, F. Salehi^{2*}, M. Rasouli³

Received: 2020.07.11

Accepted: 2020.08.24

Introduction: The dispersion of water soluble hydrocolloids (gums) in the aqueous system provides great technical importance, because they can improve the gel or enhance the thickening properties of food products. Wild sage seeds have significant amounts of gum with good functional properties that after extracting from seeds (mucilage) and drying, can be used in formulation of various products (Salehi, 2017, 2020a). The physicochemical properties and rheological behaviour of seed gums depend on the method and condition of drying. Also, the color of dried product is an important quality factor, which is affected by drying conditions (Amid and Mirhosseini, 2012; Nep and Conway, 2011). For example, effect of different drying methods (oven drying (40-80°C), freeze drying and vacuum oven drying) on rheological behaviour, color and physicochemical characteristics of BSM were investigated by Salehi and Kashaninejad (2017). Drying is one of the simply available and the most common processing approach that has been used traditionally for preservation of food product. One of the best way to reduce the drying time is to use IR radiation heating. IR methods could be used as substitution to the current drying methods for producing high-quality dried hydrocolloids. IR heating has many advantages include high heat transfer rate, uniform heating, low processing time, high efficiency (80-90%), lower energy consumption, lower energy costs, and improves final product quality (Aktaş et al., 2017; Salehi, 2020c). The performance of artificial neural networks (ANN) as an analytical alternative to conventional modeling techniques was reported by some researchers. They reported that these approaches are able to estimate the drying kinetics of various fruits and vegetables with high precision. It has been shown that nonlinear approaches based on ANN are far better in generalization and estimation in comparison to empirical models (Bahramparvar et al., 2014; Salehi, 2020b; Zhang et al., 2014). It is difficult to predict the combined effects of treatment time, IR power, lamp distance and mucilage thickness on drying kinetics (moisture content and moisture ratio) of fruits and vegetables using conventional models. Therefore, the target of this study was to investigate the effect of IR dryer parameters on moisture content and moisture ratio of wild sage seed mucilage during IR drying and studying the performance of ANN method for estimation of these parameters.

Materials and methods: Wild sage seeds was physically cleaned and all foreign stuffs were removed. Then, the pure wild sage seeds were immersed in water for 20 min at a seed/water ratio of 1:20 at 25°C and pH = 7. In the next step, the gum was separated from the inflated seeds by passing the seeds through an extractor (M-J-376-N, Nikko Electric Industry Company, Iran) with a rotating disc which scratches the mucilage layer on the seed surface. The initial moisture content (MC) of WSSM was 99.4% (wet basis). Finally, the obtained WSSM was immediately placed into IR dryer. In this study, for wild sage seed mucilage drying, infrared radiation (IR) method was used. The effect of infrared lamp power (150, 250 and 375 W), distance of samples from lamp (4, 8 and 12 cm) and mucilage thickness (0.5, 1 and 1.5 cm) on drying time of wild sage seed mucilage were investigated.

Results and Discussion: The results of wild sage seed mucilage drying using infrared method presented that by increasing the lamp power and decreasing the sample distance from the heat source, drying time was decreased. With lamp distance increasing from 4 to 12 cm, the average drying time of wild sage seed mucilage increased from 72.04 minutes to 160.81 minutes. When it comes to sample thickness, we found that by increasing the thickness of mucilage (0.5 to 1.5 cm) drying time of sample increased from 55.59 to 173.67 min. The process was modeled by an artificial neural network with 4 inputs (radiation time, lamp power, lamp distance and thickness) and 2 output (moisture content (MC) and moisture ratio (MR)). The results presented that mucilage drying time significantly increased by decreasing power of lamp (375 up to 150 W) and increasing the heat source distance from sample (4 to 12 cm). The results of artificial neural network modeling showed that the network with 8 neurons in a hidden layer and with using the sigmoid activation function could predict the moisture content and moisture ratio of wild sage seed mucilage during infrared drying in various times ($r=0.974$ for MC and $r=0.997$ for MR).

Keywords: Artificial neural network, Moisture content, Moisture ratio, Gum.

1, 2 and 3. MSc Student, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

(*Corresponding Author Email: F.Salehi@Basu.ac.ir)

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی خصوصیات آنتی‌اکسیدانی عصاره پوسته دانه نارنج استخراج شده به کمک

مایکروویو

محمدتقی گل‌مکانی^{۱*} - غلامرضا مصباحی^۲ - نصیره علوی^۳ - آریتا حسین‌زاده فربودی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۶

چکیده

هدف از این مطالعه، بهینه‌سازی استخراج عصاره پوسته دانه نارنج به کمک مایکروویو در سطوح مختلف توان مایکروویو (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ وات)، زمان استخراج (۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه)، مقدار نمونه (۵، ۱۰ و ۱۵ گرم) و حجم حلال (۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌لیتر) بر میزان بازدهی، میزان ترکیبات زیست‌فعال (فنل و فلاونوئید کل) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال آزاد، قدرت احیای آهن، ظرفیت احیای مس و ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن) بود. همچنین، شرایط بهینه استخراج به کمک مایکروویو با روش متداول (استخراج به کمک همزن مغناطیسی) مقایسه شد. شرایط بهینه استخراج به کمک مایکروویو شامل توان ۲۰۰ وات، زمان استخراج ۱۲ دقیقه، ۵ گرم نمونه و ۲۰۰ میلی‌لیتر حلال بود. در شرایط بهینه، میزان بازدهی، میزان ترکیبات فنلی کل، میزان فلاونوئید کل، IC_{50} ، قدرت احیای آهن، ظرفیت احیای مس و ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن به ترتیب ۱۱/۵۷ درصد، ۱۵۵۵۰/۵۰ میکروگرم معادل گالیک اسید بر گرم، ۱۴۷۶/۲۲ میکروگرم معادل کوئرستین بر گرم، ۱۱/۳۳ میلی‌گرم در میلی‌لیتر، ۷/۱۲ میلی‌گرم آسکوربیک اسید بر گرم، ۶/۴۴ میلی‌گرم آسکوربیک اسید بر گرم و ۰/۴۳ میلی‌گرم EDTA بر گرم بود. تفاوت معنی‌داری بین میزان بازدهی، ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره استخراج شده به کمک مایکروویو با عصاره استخراج شده به روش متداول مشاهده نگردید. به‌طور کلی، استخراج به کمک مایکروویو به‌عنوان روشی سریع و دوست‌دار محیط زیست، می‌تواند روشی مناسب و کاربردی برای استخراج ترکیبات زیست‌فعال از پوسته دانه نارنج معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: پوسته دانه نارنج، عصاره، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مایکروویو.

مقدمه

هویج، پوست سیر، پوست پیاز، سیب زمینی و گوجه‌فرنگی و پوست چغندر قرمز گزارش شده است (Sagar et al., 2018). پوسته دانه میوه‌ها، یکی از منابع ضایعات را تشکیل می‌دهد. Fidelis و همکاران (۲۰۱۸) ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال آزاد و قدرت احیای آهن) پوشش دانه میوه Camu Camu به‌عنوان یکی از ضایعات فرآوری این میوه، ارزیابی و گزارش کردند. همچنین، Figueroa و همکاران (۲۰۱۸) ترکیبات فنلی و فعالیت مهارکنندگی رادیکال پوسته دانه آووکادو به‌عنوان یک محصول جانبی مهم تعیین خصوصیت کردند. نتایج آنها نشان داد که پوسته دانه آووکادو، منبعی از ترکیبات زیست‌فعال است که می‌تواند در مواد غذایی مورد استفاده قرار بگیرد.

مرکبات، یکی از مهمترین فرآورده‌های کشاورزی در جهان است و در بیش از ۹۰ کشور و ناحیه در جهان تولید می‌شود. آنها متعلق به Rutaceae aurantioideae هستند. از اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی

ضایعات مواد غذایی در تمام فازهای چرخه مواد غذایی به عبارت دیگر طی تولید فرآورده‌های کشاورزی و صنعتی، فرآوری و توزیع، ایجاد می‌شوند. ترکیبات زیست‌فعال حاصل از ضایعات غذایی می‌توانند استخراج یابند و برای ایجاد مواد غذایی فراسودمند مورد استفاده قرار بگیرند. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) تخمین زده است تلفات و ضایعات در میوه‌جات و سبزیجات، بالاترین میزان را در میان تمام انواع مواد غذایی دارد و می‌تواند به ۶۰ درصد برسد. ضایعات میوه‌جات و سبزیجات شامل پوست، ساقه، دانه، پوسته، سیوس و باقیمانده‌ها پس از استخراج آب میوه، روغن، نشاسته و قند هستند (Sagar et al., 2018, Kumar et al., 2017). ایجاد ترکیبات طعمی، ترکیبات فنلی، آنزیم‌ها و اسیدهای آلی از قسمت‌های ضایعات میوه‌های مختلف پوست و ضایعات جامد مرکبات، تفاله و برگ سیب، دانه، پوست و تفاله انگور و پوست کیوی - و از قسمت‌های ضایعات سبزیجات تفاله

دسته‌بندی می‌شوند (Vinatoru et al., 2017; Golmakani & Moayyedi, 2016). از جمله مزایای روش استخراج ترکیبات زیست‌فعال به کمک مایکروویو نسبت به روش‌های معمول استخراج شامل موارد زیر است: عملیات اتوماتیک، ایجاد موثرتر و انتخابی‌تر حرارتی و زمان کوتاه‌تر استخراج (Vinatoru et al., 2017). بر اساس مطالب ذکر شده، از میان ضایعات حاصل از فرآوری میوه‌جات و سبزیجات، پوسته دانه مرکبات، به‌عنوان یک محصول جانبی با ارزش، می‌تواند برای استخراج ترکیبات زیست‌فعال منبع مناسبی باشد. از طرف دیگر، مایکروویو به‌عنوان روشی سریع و در نتیجه کاهش اثرات منفی بر ترکیبات زیست‌فعال طی استخراج معرفی شده است. بنابر این موارد، هدف از این پژوهش، بهینه‌سازی متغیرهای توان مایکروویو، زمان استخراج، مقدار نمونه و حجم حلال بر بازدهی، میزان ترکیبات زیست‌فعال (ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی کل) و فعالیت آنتی اکسیدانی (مهار رادیکال آزاد، قدرت احیای آهن، ظرفیت احیای مس و ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن) عصاره پوسته دانه نارنج می‌باشد. پس از تعیین شرایط بهینه، میزان بازدهی، میزان ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره استخراج شده به کمک مایکروویو با روش متداول (استخراج به کمک همزن مغناطیسی) مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

متانول، معرف دی فنیل پیکریل هیدازیل^۱، کلرید آهن و معرف فروزین^۲ مورد استفاده در روش کلاته‌کنندگی آهن از شرکت سیگما-آلدريج (St. Louis, MO) خریداری گردید. هگزان، معرف نئوکوپرین^۳ و تری کلرواستیک اسید^۴ از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

متغیرهای مؤثر بر استخراج عصاره به کمک مایکروویو

چهار متغیر توان مایکروویو، زمان استخراج، مقدار نمونه و حجم حلال مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱).

استخراج عصاره

دانه‌های نارنج حاصل از ضایعات کارخانه لیمون‌دیس واقع در منطقه بیضاء فارس بود که در آبان ماه سال ۱۳۹۲ خریداری شد و به‌صورت دستی، پوسته آنها جداسازی شد. ترکیب شیمیایی تشکیل دهنده پوسته دانه نارنج مطابق با استاندارد انجمن متخصصین شیمی غلات آمریکا (AACC, 2000) همراه با برخی تغییرات تعیین شد. استخراج از پوسته به کمک مایکروویو انجام شد. نسبت مشخصی از نمونه (۵، ۱۰ و ۱۵ گرم) و حلال متانول (۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی لیتر) در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه در معرض سطوح توان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ وات در دستگاه

تولید و مصرف جهانی مرکبات یک دوره افزایشی فراوان را تجربه کرده است. تولید و صادرات مرکبات، در بسیاری از کشورها یک منبع مهم درآمد است. میزان کل تولید مرکبات در کشورهای عمده تولیدکننده در جهان طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ میلادی، ۸۸ میلیون تن بود که از میان این کشورها، چین بزرگترین تولیدکننده بوده است (Ye et al., 2017). باقیمانده‌ها در صنعت فرآوری مرکبات، ۵۰ تا ۶۵ درصد وزن کل میوه را تشکیل می‌دهند و به‌عنوان باقیمانده‌های اولیه برجای می‌مانند که منجر به مقادیر زیاد پوست، دانه و پالپ میوه می‌شوند. این باقیمانده‌های خوب، تحت عنوان ضایعات مرکبات شناخته می‌شوند و به‌عنوان یک مسئله زیست‌محیطی شدید می‌باشند (Marin, 2017). حدود ۳ تا ۵ درصد وزن میوه را دانه‌ها تشکیل می‌دهند. وزن هزار دانه مرکبات، محدوده ۶۵ تا ۱۹۷ گرم و نسبت Skin: flesh دانه ۰/۲۹ تا ۰/۶۵ گزارش شده است (Yilmaz & Güneşer, 2017; Güneşer & Yilmaz, 2017).

دو نوع Orange، با تولید حدود ۱/۶ میلیون تن در ایران، وجود دارد: نوع شیرین، پرتقال (*Citrus sinensis*) و نوع ترش یا تلخ، نارنج (*Citrus aurantium*). یکی از ساختارهای درونی مرکبات، دانه‌ها هستند که حاوی چربی (۵۲/۰ درصد)، پروتئین (۳/۱ درصد)، فیبر (۵/۵ درصد)، خاکستر (۲/۵ درصد) و مواد تلخ هستند که تأثیر مهمی بر فرآوری مرکبات دارند. ترکیبات طبیعی مثل فنل‌ها، لیمونوئیدها، کومارین و آلکالوئیدها در پوست و دانه مرکبات، توجه زیادی را در تحقیقات به سمت خود جلب کرده است. گزارش شده است میزان این ترکیبات در دانه و پوست مرکبات بالاتر از قسمت‌های خوراکی است (Chavan et al., 2018; Ye et al., 2017). در عصاره متانولی دانه نارنج، نارینجین، نئوهسپریدین و فلاون‌ها، کافئیک اسید، پاراکوماریک اسید، فرولیک اسید و سیناپیک اسید شناسایی شد (Bocco et al., 1998).

ترکیبات زیست‌فعال موجود در ضایعات صنعت کشاورزی با استفاده از تکنیک‌های مختلف می‌تواند بازیابی شود (Kumar et al., 2017). از جمله روش‌های سنتی و معمول مورد استفاده برای استخراج ترکیبات فرار، تقطیر با آب، تقطیر با بخار و ماسراسیون و روش‌های سنتی برای استخراج ترکیبات با فرآریت کم (آنتی‌اکسیدان‌ها، رنگدانه‌ها، آروما و ترکیبات آلی دیگر) برپایه استخراج با حلال هستند (Vinatoru et al., 2017). استخراج به کمک مایکروویو و استخراج به کمک فراصوت پرکاربردترین تکنیک‌های نوین و دوست‌دار محیط زیست استخراج هستند (Satari & Karimi, 2018). استخراج به کمک مایکروویو به دو دسته روش استخراج بدون حلال (برای استخراج ترکیبات فرار) و روش استخراج با حلال (معمولاً برای استخراج ترکیبات غیرفرار)

بود (کوشش و گلمکانی، ۱۳۹۴). بهینه‌سازی استخراج به کمک مایکروویو توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و براساس حداکثر میزان بازدهی، حداکثر میزان فنل و حداکثر میزان فلاونوئید کل، حداکثر قدرت احیای آهن، حداکثر ظرفیت احیای مس، حداکثر ظرفیت کلاته‌کنندگی و حداقل میزان IC_{50} انجام شد.

مایکروویو (ME3410W، سامسونگ، مالزی) قرار گرفت. سپس عصاره به‌وسیله فیلتراسیون، جداسازی شد. عصاره حاصل تا زمان آنالیز، در ظروف تیره و در یخچال نگهداری گردید. نمونه شاهد، عصاره استخراج شده به کمک همزن مغناطیسی (روش متداول) بود و تمام شرایط آن مشابه با شرایط بهینه روش استخراج به کمک مایکروویو

جدول ۱- طرح ماتریس مورد استفاده در بهینه‌سازی متغیرها

ردیف	توان (A: وات)	زمان (B: دقیقه)	مقدار نمونه (C: گرم)	حجم حلال (D: میلی‌لیتر)
۱	۱۰۰	۵	۵	۱۰۰
۲	۱۰۰	۵	۵	۲۰۰
۳	۱۰۰	۵	۱۵	۱۰۰
۴	۱۰۰	۵	۱۵	۲۰۰
۵	۱۰۰	۱۰	۱۰	۱۵۰
۶	۱۰۰	۱۵	۵	۱۰۰
۷	۱۰۰	۱۵	۵	۲۰۰
۸	۱۰۰	۱۵	۱۵	۱۰۰
۹	۱۰۰	۱۵	۱۵	۲۰۰
۱۰	۲۰۰	۵	۱۰	۱۵۰
۱۱	۲۰۰	۱۰	۵	۱۵۰
۱۲	۲۰۰	۱۰	۱۰	۱۰۰
۱۳	۲۰۰	۱۰	۱۰	۱۵۰
۱۴	۲۰۰	۱۰	۱۰	۱۵۰
۱۵	۲۰۰	۱۰	۱۰	۱۵۰
۱۶	۲۰۰	۱۰	۱۰	۱۵۰
۱۷	۲۰۰	۱۰	۱۰	۱۵۰
۱۸	۲۰۰	۱۰	۱۰	۱۵۰
۱۹	۲۰۰	۱۰	۱۰	۲۰۰
۲۰	۲۰۰	۱۰	۱۵	۱۵۰
۲۱	۲۰۰	۱۵	۱۰	۱۵۰
۲۲	۳۰۰	۵	۵	۱۰۰
۲۳	۳۰۰	۵	۵	۲۰۰
۲۴	۳۰۰	۵	۱۵	۱۰۰
۲۵	۳۰۰	۵	۱۵	۲۰۰
۲۶	۳۰۰	۱۰	۱۰	۱۰۰
۲۷	۳۰۰	۱۵	۵	۱۰۰
۲۸	۳۰۰	۱۵	۵	۲۰۰
۲۹	۳۰۰	۱۵	۱۵	۱۰۰
۳۰	۳۰۰	۱۵	۱۵	۲۰۰

جدول ۲- آنالیز واریانس مدل‌های برازش شده در بهینه‌سازی بازدهی، ترکیبات زیست‌فعال و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی عصاره پوسته دانه نارنج

پاسخ	مدل		عدم برازش*		R ² تنظیم شده**	R ² پیش‌بینی شده***	تکرارپذیری****
	F	ارزش P (احتمال)	F	ارزش P (احتمال)			
میزان بازدهی ^۱	۸۳/۳۲	<۰/۰۰۰۱	معنی‌دار	۰/۲۶۰۷	۰/۹۷۱۴	۰/۹۳۸۷	۳۵/۳۴۷
میزان ترکیبات فنلی کل ^۲	۱۱۴/۰۰	<۰/۰۰۰۱	معنی‌دار	۰/۱۳۳۱	۰/۹۶۸۹	۰/۹۴۹۸	۵۱/۵۰۰
میزان فلاونوئید کل ^۳	۱۸۵/۰۲	<۰/۰۰۰۱	معنی‌دار	۰/۰۱۳۱	۰/۹۸۵۹	۰/۹۷۰۹	۵۸/۲۸۳
IC ₅₀ ^۴	۹۵/۱۷	<۰/۰۰۰۱	معنی‌دار	۰/۱۹۹۵	۰/۹۷۵۰	۰/۹۶۳۹	۴۲/۰۷۶
قدرت احیای آهن ^۵	۹۶/۹۹	<۰/۰۰۰۱	معنی‌دار	۰/۰۱۳۳	۰/۹۷۳۳	۰/۹۴۳۳	۴۰/۶۹۹
ظرفیت احیای مس ^۶	۳۳/۱۳	<۰/۰۰۰۱	غیر معنی‌دار	۰/۴۰۵۶	۰/۹۹۳۳	۰/۷۲۶۳	۱۵/۳۷۳
ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن ^۷	۱۳۶/۵۶	<۰/۰۰۰۱	غیر معنی‌دار	۰/۰۶۰۴	۰/۹۷۹۱	۰/۹۶۳۶	۴۷/۳۱۱

درصد میکروگرم معادل گالیک اسید بر گرم نمونه؛ میکروگرم معادل کوئرستین بر گرم نمونه؛ میلی گرم در میلی لیتر؛ میلی گرم آسکوربیک اسید بر گرم نمونه؛ میلی گرم EDTA بر گرم نمونه؛ نوسان داده‌ها پیرامون مدل برازش شده؛ **مقیاسی از میزان نوسان پیرامون میانگین توضیح داده شده به‌وسیله مدل که با افزایش عبارات موجود در مدل، کاهش می‌یابد؛ ***مقیاسی از میزان نوسان در داده‌های پیش‌بینی شده جدید به‌وسیله مدل؛ ****تکرارپذیری، نسبت سیگنال به نویز (S/N) می‌باشد.

بازده استخراج

حلال از عصاره با تبخیر در انکوباتور (Fisher، آمریکا) در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، جداسازی شد. بازدهی استخراج از تقسیم وزن عصاره خشک شده بر حجم حلال به‌دست آمد و برحسب درصد گزارش شد (کوشش و گل‌مکانی، ۱۳۹۴).

اثر متغیرهای استخراج بر ترکیبات زیست‌فعال عصاره میزان ترکیبات فنلی کل

میزان ترکیبات فنلی کل عصاره از یک غلظت انتخاب شده (۰/۱ گرم در میلی‌لیتر) بر اساس روش Habibi و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد. میزان ترکیبات فنلی کل، با استفاده از معادله منحنی استاندارد ($y=0.0005x-0.0088$) و x به‌ترتیب جذب و میکروگرم معادل گالیک اسید در میلی‌لیتر) بر حسب میکروگرم معادل گالیک اسید بر گرم نمونه گزارش شد.

میزان فلاونوئید کل

میزان فلاونوئید کل از یک غلظت انتخاب شده (۰/۱ گرم در میلی‌لیتر) بر طبق روش Habibi و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد. منحنی استاندارد آن ($y=0.0164x-0.0451$) و x به‌ترتیب جذب و بر حسب میکروگرم معادل کوئرستین در میلی‌لیتر) رسم گردید. میزان فلاونوئید کل، برحسب میکروگرم معادل کوئرستین بر گرم نمونه گزارش شد.

اثر متغیرهای استخراج بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره مهار رادیکال آزاد DPPH

جهت تعیین مهار رادیکال آزاد عصاره، از روش Habibi و همکاران (۲۰۱۵) همراه با برخی اصلاحات استفاده شد. از محدوده غلظت‌های مختلف (از ۰/۰۱ گرم در میلی‌لیتر تا ۱/۰۰ گرم در میلی‌لیتر) استفاده شد. نسبت حجم نمونه به DPPH، ۱:۳ (DPPH: نمونه) انتخاب شد. نتایج به‌صورت IC₅₀^۱ (میلی‌گرم در میلی لیتر) گزارش شد.

قدرت احیای آهن

قدرت احیای آهن از یک غلظت انتخاب شده (۰/۵ گرم در میلی‌لیتر) بر اساس روش Rekha و همکاران (۲۰۱۲) همراه با برخی اصلاحات، تعیین شد. با استفاده از معادله منحنی استاندارد ($y=10.789x-0.0129$) و x به‌ترتیب جذب و میلی‌گرم آسکوربیک اسید در میلی‌لیتر)، قدرت احیای آهن برحسب میلی‌گرم آسکوربیک اسید بر گرم نمونه گزارش شد.

آنالیز ارتباط بین متغیرها و پاسخ‌های فرآیند و همچنین پیش‌بینی و تایید معادلات مدل، استفاده گردید. $P < 0.01$ به‌عنوان سطح معنی‌دار بودن از نظر آماری انتخاب شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی پوسته دانه نارنج

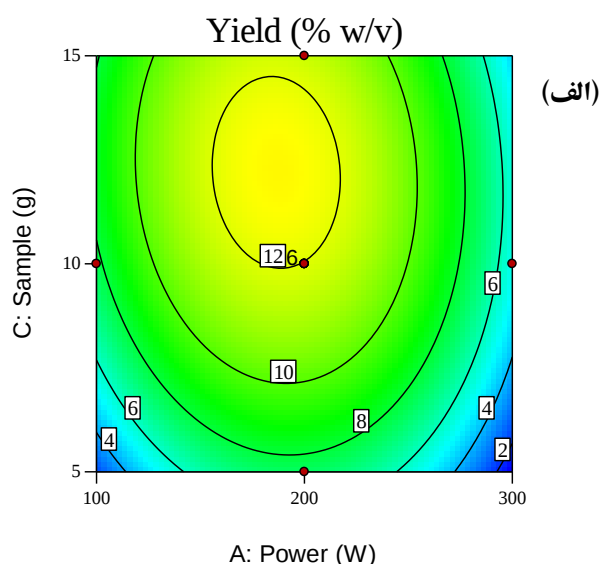
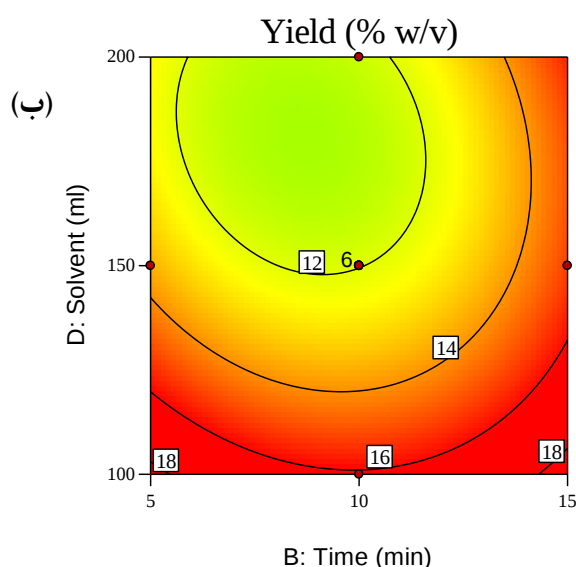
ترکیبات تشکیل‌دهنده پوسته شامل رطوبت ۱/۸۰ درصد، چربی ۱/۳۰ درصد، پروتئین ۳/۴۷ درصد، خاکستر ۱/۵۰ درصد و کربوهیدرات ۹۱/۹۳ درصد بود. بیشترین و کمترین جزء تشکیل‌دهنده، کربوهیدرات و چربی بودند.

آنالیز واریانس مدل‌ها

خلاصه آنالیز واریانس مدل‌های برازش شده در بهینه‌سازی بازدهی، ترکیبات زیست‌فعال و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی عصاره پوسته دانه نارنج در جدول ۲ گزارش شده است. تکرارپذیری، نسبت سیگنال به نویز را اندازه می‌گیرد. این نسبت برای اعداد بیشتر از ۴، مطلوب است.

بازدهی استخراج

اعداد بازدهی در جدول ۳ و شکل ۱ نشان داده شده است. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از استاندارد بازدهی به‌ترتیب ۱/۴۰، ۱۶/۱۰، ۹/۸۰ و ۰/۵۰ درصد بود. متغیرهای توان، زمان، مقدار نمونه و حجم حلال رابطه‌ای معنی‌دار با بازدهی استخراج داشتند.



شکل ۱- اثر متغیرهای توان، زمان، مقدار نمونه و حجم حلال بر بازدهی استخراج پوسته دانه نارنج

ظرفیت احیای مس

ظرفیت احیای مس از یک غلظت انتخاب شده (۰/۱ گرم در میلی‌لیتر) بر طبق روش Pascu و همکاران (۲۰۱۴) با برخی اصلاحات، تعیین گردید. ظرفیت احیای مس با استفاده از معادله منحنی استاندارد $y = 5.7057x + 0.902$ و x به‌ترتیب جذب و میلی‌گرم آسکوربیک اسید در میلی‌لیتر) برحسب معادل میلی‌گرم آسکوربیک اسید بر گرم نمونه گزارش شد.

ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن

به منظور تعیین ظرفیت کلاته‌کنندگی عصاره، از روش Oyetayo و همکاران (۲۰۰۹)، استفاده شد. از معادله منحنی استاندارد $y = -10.355x + 0.9956$ و x به‌ترتیب جذب و میلی‌گرم اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) در میلی‌لیتر)، ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن محاسبه گردید و بر حسب میلی‌گرم EDTA بر گرم نمونه گزارش شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای بررسی تاثیر متغیرها و بهینه‌سازی، از روش سطح پاسخ (با طرح مرکب مرکزی) که از متداول‌ترین و پرکاربردترین اشکال روش سطح پاسخ است، به عنوان طرح آزمایش استفاده شده است. طرح مرکب مرکزی شامل چهار متغیر هر کدام در سه سطح و در مجموع سی آزمایش بود، استفاده گردید. از ۳۰ آزمایش این طرح، شش تکرار در نقطه مرکزی قرار داشتند. از نرم‌افزار Design Expert V10 (هنپین، مینیسوتا) برازش شده به معادله چند جمله‌ای درجه دو، جهت

جدول ۳- اثر متغیرهای استخراج بر بازدهی، ترکیبات زیست فعال و خصوصیات آنتی اکسیدانی عصاره پوسته دانه نارنج

ردیف	بازدهی ^۱	میزان ترکیبات فنل کل ^۲	میزان فلاونوئید کل ^۳	IC ₅₀ ^۴	قدرت احیای آهن ^۵	ظرفیت احیای مس ^۶	ظرفیت کلاته کنندگی آهن ^۷
۱*	۸/۵۰	۳۹۵۰/۱۶	۶۲۸/۷۰	۶۴/۰۰	۳/۶۰	۱/۱۴	۰/۲۹
۲	۱/۴۰	۱۲۰۱۷/۱۰	۱۲۹۶/۷۰	۷۳/۵۰	۲/۴۳	۰/۷۶	۰/۳۰
۳	۱۳/۶۹	۱۴۶۱/۸۶	۲۳۹/۸۱	۷۴/۶۰	۱/۷۰	۱/۲۷	۰/۰۷
۴	۷/۱۹	۲۴۲۲/۳۲	۵۹۶/۰۲	۶۰/۰۰	۰/۶۴	۱/۶۴	۰/۰۲
۵	۷/۵۰	۹۹۵۵/۱۳	۸۰۰/۷۹	۴۰/۰۰	۱/۱۶	۲/۳۶	۰/۲۷
۶	۱۱/۸	۱۲۵۵۳/۰۰	۷۴۰/۲۲	۳۷/۰۰	۱/۱۵	۳/۴۵	۰/۳۵
۷	۶/۵۴	۲۱۸۰۰/۰۰	۱۵۵۱/۷۷	۱۹/۸۰	۱/۸۴	۳/۴۸	۰/۴۸
۸	۱۶/۰۰	۹۰۸۸/۴۱	۱۹۴/۰۳	۸۸/۰۰	۰/۸۷	۲/۰۰	۰/۱۰
۹	۱۲/۰۰	۱۲۳۷۱/۱۰	۶۵۱/۴۰	۳۵/۹۰	۱/۰۶	۴/۲۱	۰/۱۶
۱۰	۱۳/۰۰	۴۴۸۸/۳۰	۷۲۵/۹۰	۳۲/۰۰	۱/۸۹	۴/۹۸	۰/۲۱
۱۱	۷/۳۹	۹۶۲۲/۶۰	۱۱۱۱/۹۳	۲۵/۵۱	۱/۱۵	۵/۱۷	۰/۳۳
۱۲	۱۶/۰۰	۴۷۹۶/۲۰	۴۷۳/۹۳	۴۳/۱۰	۴/۰۷	۴/۳۱	۰/۱۲
۱۳	۱۱/۰۵	۷۲۰۰/۰۰	۸۸۲/۸۱	۲۷/۹۰	۱/۸۴	۵/۶۰	۰/۲۱
۱۴	۱۲/۶۰	۶۲۷۱/۰۰	۸۷۳/۲۰	۲۶/۴۰	۱/۹۲	۵/۱۴	۰/۲۳
۱۵	۱۱/۷۰	۶۴۹۱/۵۲	۸۹۵/۶۳	۲۶/۰۰	۱/۸۸	۶/۹۶	۰/۲۲
۱۶	۱۱/۸۱	۵۸۰۰/۰۰	۸۷۳/۲۰	۳۰/۴۰	۱/۸۴	۶/۲۰	۰/۲۱
۱۷	۱۲/۰۰	۶۱۲۸/۶۶	۸۹۸/۸۳	۲۲/۲۰	۱/۹۷	۷/۲۷	۰/۲۲
۱۸	۱۱/۶۰	۶۵۹۰/۴۸	۹۰۸/۴۵	۲۴/۵۰	۱/۹۶	۶/۸۰	۰/۲۱
۱۹	۱۲/۲۰	۷۵۹۶/۳۰	۱۰۰۱/۷۱	۲۱/۰۰	۳/۳۸	۶/۹۹	۰/۲۴
۲۰	۱۲/۰۰	۴۴۴۹/۰۹	۶۷۷/۷۴	۵۴/۴۰	۰/۲۹	۵/۶۴	۰/۱۲
۲۱	۱۶/۱۰	۶۵۹۰/۴۸	۹۱۱/۶۵	۲۳/۵۰	۱/۸۸	۷/۸۸	۰/۲۳
۲۲	۸/۸۰	۴۵۰۴/۳۴	۳۴۲/۴۷	۳۲/۰۰	۲/۳۸	۴/۰۰	۰/۱۶
۲۳	۲/۵۰	۷۱۶۶/۶۰	۷۳۳/۹۲	۲۳/۶۰	۱/۵۹	۳/۶۰	۰/۳۳
۲۴	۱۱/۱۵	۵۸۹۷/۷۸	۲۷۷/۵۰	۶۱/۳۹	۰/۶۳	۲/۸۹	۰/۰۳
۲۵	۷/۰۹	۳۷۴۱/۸۰	۴۷۵/۵۳	۲۷/۵۰	۰/۲۴	۳/۵۷	۰/۱۲
۲۶	۵/۸۰	۴۷۷۵/۴۵	۶۲۹/۶۶	۲۴/۹۰	۱/۰۷	۵/۵۸	۰/۲۱
۲۷	۶/۳۰	۲۲۲۶/۳۰	۵۳۰/۴۰	۵۳/۰۰	۱/۴۸	۴/۶۴	۰/۱۳
۲۸	۴/۱۹	۵۸۷۳/۹۰	۱۰۶۸/۳۳	۱۷/۰۰	۲/۰۰	۵/۶۰	۰/۴۴
۲۹	۸/۳۰	۲۷۲۶/۸۰	۲۷۳/۵۲	۱۲۱/۰۰	۰/۷۶	۲/۱۱	۰/۰۲
۳۰	۷/۷۰	۱۵۹۶/۸۰	۶۰۱/۱۴	۵۴/۰۰	۱/۴۷	۵/۵۰	۰/۲۰

* در جدول ۱، هر یک از شرایط معرفی گردیده است.

^۱ درصد، ^۲ میکروگرم معادل گالیک اسید بر گرم نمونه؛ ^۳ میکروگرم معادل کوئرستین بر گرم نمونه؛ ^۴ میلی گرم در میلی لیتر؛ ^۵ میلی گرم آسکوربیک اسید بر گرم نمونه؛ ^۶ میلی گرم آسکوربیک اسید بر گرم نمونه؛ ^۷ میلی گرم EDTA بر گرم نمونه

بر طبق شکل ۱ (ب) در کمترین حجم حلال با افزایش زمان از ۱۰ دقیقه تا ۱۵ دقیقه، بازدهی افزایش یافت. نتایج حاکی از افزایش بازدهی با افزایش توان تا میزان ۲۰۰ وات بود. افزایش انرژی تشعشع مایکروویو، نفوذ حلال به نمونه را افزایش می دهد که باعث انتقال مواد

اثر متقابل متغیرهای توان و زمان، توان و مقدار نمونه، توان و حجم حلال، و زمان و حجم حلال معنی دار بودند. افزایش مقدار نمونه تا تقریباً ۱۵ گرم و افزایش توان تا ۲۰۰ وات (شکل ۱ (الف))، باعث افزایش بازدهی شد اما در مقادیر بالاتر، بازدهی استخراج کاهش یافت.

در ۵ گرم نمونه با ۲۰۰ میلی‌لیتر حلال (شکل ۲ (ب)) میزان ترکیبات فنل کل بیشتری مشاهده گردید و با افزایش مقدار نمونه، میزان ترکیبات فنلی کل کاهش یافت. اکثر آنتی‌اکسیدان‌ها در میوه‌جات از ترکیبات فنلی نشأت می‌گیرند (Anal et al., 2014). کاهش میزان ترکیبات فنلی کل با افزایش توان می‌تواند به علت تجزیه حرارتی ترکیبات زیست‌فعال باشد (Dahmoune et al., 2013). بر این اساس، با افزایش توان به ترکیبات فنلی بیشتری در عصاره نمی‌توان دست یافت. افزایش زمان، میزان ترکیبات فنلی کل را افزایش داد. Jokić و همکاران (۲۰۱۲) ترکیبات فنلی را از بروکلی به کمک مایکروویو استخراج نمودند و مشاهده کردند افزایش زمان (۱-۲۷ دقیقه)، اثر مثبت بر میزان ترکیبات فنلی کل داشته است.

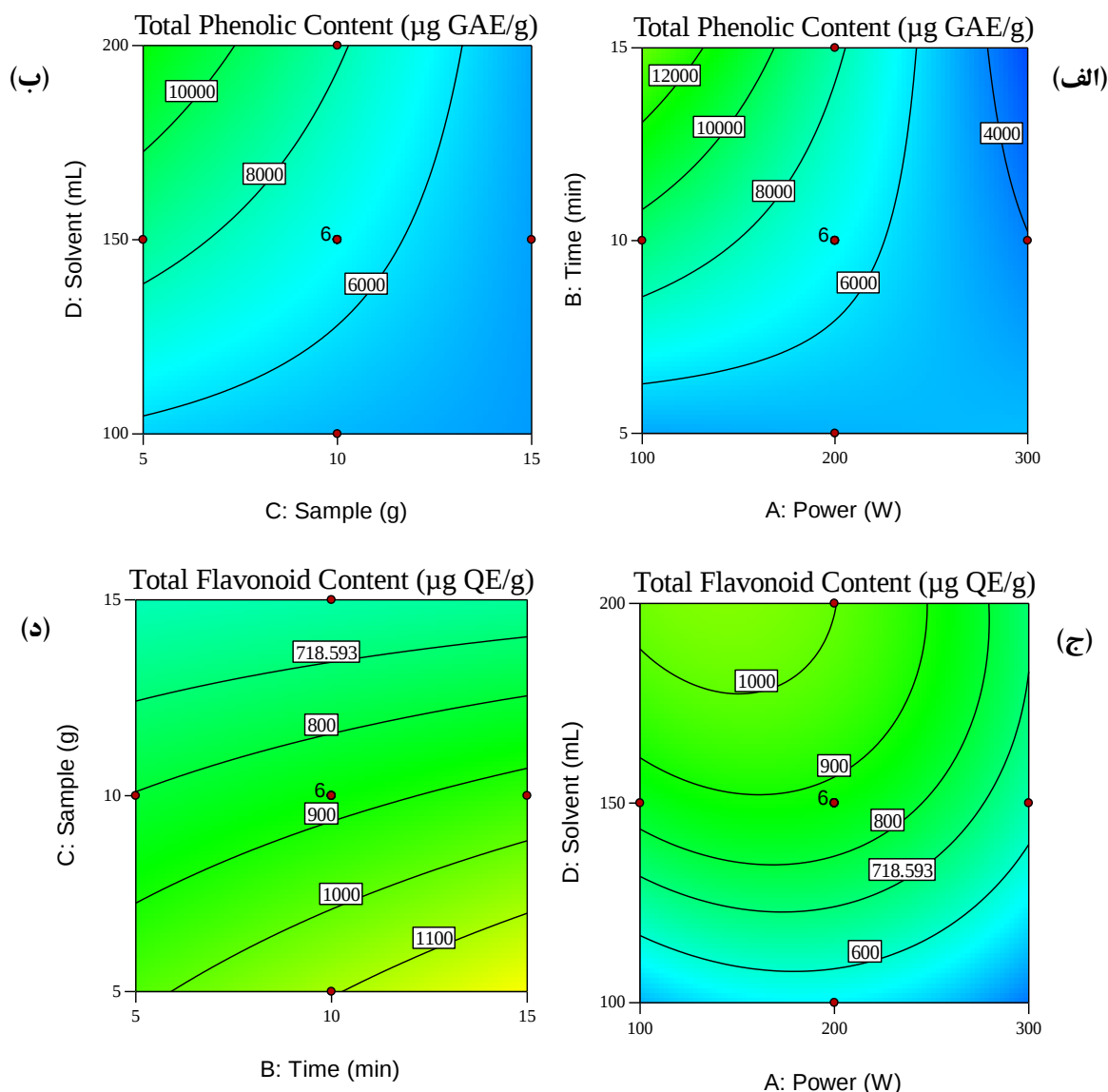
همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش حجم حلال، میزان ترکیبات فنلی کل افزایش می‌یابد. افزایش حجم حلال، به عبارت دیگر ایجاد گرادیان بزرگتری از غلظت، می‌تواند انتقال جرم را بهتر کند و از این رو، حرارت کمتر ایجاد شده به علت اعمال کمترین توان مایکروویو و کاهش نفوذ مایکروویو به درون نمونه را جبران نماید (Dahmoune et al., 2013). ترکیبات فنلی، ترکیباتی قطبی هستند. بنابراین، حلالی انتخاب می‌شود که توانایی استخراج این ترکیبات از نمونه را داشته باشد. ثابت دی الکتریک، توانایی یک ماده در ذخیره تابش الکترومغناطیسی را شرح می‌دهد. فاکتور افت دی الکتریک نشان‌دهنده توانایی تبدیل انرژی مایکروویو جذب شده درون یک ماده به حرارت است. از این دو ویژگی، فاکتور اتلاف تعریف می‌شود که توانایی حلال در جذب انرژی مایکروویو و تبدیل آن به حرارت را بیان می‌کند. آب بالاترین ثابت دی الکتریک و کمترین فاکتور اتلاف را دارد. متانول، ثابت دی الکتریک نسبتاً بالا و بیشترین میزان فاکتور اتلاف دارد بدان معنا که متانول می‌تواند بیشترین انرژی مایکروویو را جذب کند و آن را بهتر از سایر حلال‌ها تبدیل به حرارت کند (Hemwimon et al., 2007, 2013, Dahmoune et al., 2011, Chan et al.). این ویژگی متانول، تحت عنوان تئوری دیواره سلولی شکسته شده، توضیح داده می‌شود بر این اساس که حلال‌های شفاف به مایکروویو بهتر از حلال‌های جذب‌کننده مایکروویو هستند (Proestos & Komaitis, 2008). در مقدار کمتر نمونه، میزان ترکیبات فنلی کل بیشتری در عصاره وجود داشت. Ballard و همکاران (۲۰۱۰) ترکیبات فنلی را از پوست بادام زمینی به کمک مایکروویو استخراج نمودند. نتایج آنها نشان داد که افزایش مقدار پوست (از ۱/۵ به ۳/۵ گرم) موجب کاهش میزان ترکیبات فنلی کل (تا ۳۵/۸ درصد) گردید. آنها گزارش نمودند افزایش مقدار نمونه (این افزایش در حالیست که حجم حلال، ثابت مانده است) مساحت سطحی در دسترس برای حلال جهت نفوذ به ماتریکس نمونه و حل کردن ترکیبات فنلی را کاهش داده و در نتیجه موجب کاهش استخراج این ترکیبات گردیده است.

از طریق تعامل مولکولی با میدان الکترومغناطیسی می‌شود. این نقل و انتقال سریع انرژی به حلال و ماتریکس موجب حل شدن ترکیبات می‌شود (Maran et al., 2014). همچنین افزایش توان مایکروویو می‌تواند دمای استخراج (به علت جذب انرژی مایکروویو) را افزایش دهد. افزایش دما منجر به کمتر شدن ویسکوزیته حلال (در کنار اثر حرارتی مایکروویو بر تخریب دیواره سلولی) شده، و در نتیجه نرخ انتشار ترکیبات از مواد به حلال را زیاد کند (Chuyen et al., 2018). با افزایش توان از ۲۰۰ به ۳۰۰ وات، بازدهی کاهش یافت. افزایش توان می‌تواند باعث جوشیدن سریع تر حلال شده، و در نتیجه فرآیند استخراج، سریع‌تر به اتمام برسد. از این رو ترکیبات، زمان کافی برای انتشار از ماده به محیط اطراف (حلال) را ندارند. بنابراین بازدهی در توان‌های بالا کاهش می‌یابد (Chuyen et al., 2018). نتایج بهتر بازدهی در مقدار کمتر حلال می‌تواند به این علت باشد که حجم حلال بیشتر، جذب انرژی مایکروویو توسط نمونه را کاهش می‌دهد چون انرژی بیشتری توسط حلال جذب می‌شود. در نتیجه شکستن دیواره سلولی و انتقال جرم را کاهش می‌دهد (Maran et al., 2014). با این وجود، یک نکته قابل ذکر اینکه بازدهی بیشتر لزوماً منجر به میزان بالاتر ترکیبات مطلوب نمی‌شود چون ترکیبات دیگر (مانند پلی‌ساکاریدها، پروتئین و لیپید) هم‌زمان افزایش می‌یابد که سهم ترکیبات زیست‌فعال را کم می‌کند (Simić et al., 2016). افزایش زمان، حاکی از افزایش بازدهی استخراج بود. زمان (در سطوح متوسط توان) به ترکیبات فرصت کافی می‌دهد که از ماتریکس سلولی به محیط اطراف (حلال) انتشار یابند. Setyaningsih و همکاران (۲۰۱۵) بهینه کردن شرایط استخراج ترکیبات فنلی از دانه برنج را بررسی کردند. نتایج آنها نشان از اثر مثبت افزایش زمان استخراج (۱۵-۵ دقیقه) بر میزان بازدهی داشت.

ترکیبات زیست‌فعال

میزان ترکیبات فنلی کل

میزان ترکیبات فنلی کل عصاره در جدول ۳ و شکل ۲ نشان داده شده است. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از استاندارد به ترتیب ۱۴۶۱/۸۶، ۲۱۸۰۰/۰۰، ۶۶۷۱/۱۲ و ۵۰۳/۴۷ میکروگرم معادل گالیک اسید بر گرم بوده اند. تمام متغیرها (توان، زمان، مقدار نمونه و حجم حلال) رابطه معنی‌داری با میزان ترکیبات فنلی کل عصاره داشتند. اثر متقابل متغیرها حاکی از معنی‌دار بودن توان و زمان، توان و مقدار نمونه، توان و حجم حلال، و مقدار نمونه و حجم حلال بودند. بر اساس شکل ۲ (الف) در زمان ۱۵ دقیقه میزان ترکیبات فنلی کل بیشتری در کمترین توان وجود داشت در حالیکه با افزایش توان، میزان ترکیبات فنلی کل، کاهش یافت.



شکل ۲- اثر متغیرهای توان، زمان، مقدار نمونه و حجم حلال بر میزان ترکیبات فنلی کل و میزان فلاونوئید کل.

میزان فلاونوئید کل

میزان فلاونوئید کل عصاره در جدول ۳ و شکل ۲ گزارش شده است. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از استاندارد به ترتیب ۱۹۴/۰۳، ۱۵۵۱/۷۷، ۷۲۸/۹۹ و ۳۱/۰۳ میکروگرم معادل کوئرستین بر گرم به دست آمد. رابطه تمام متغیرها (توان، زمان، مقدار نمونه و حجم حلال) با میزان فلاونوئید کل، معنی دار بود. اثر متقابل متغیرهای توان و مقدار نمونه، توان و حجم حلال، زمان و مقدار نمونه، زمان و حجم حلال، و مقدار نمونه و حجم حلال معنی دار به دست آمدند. با افزایش توان از ۱۰۰ وات به ۱۵۰ وات، در بیشترین حجم حلال (شکل ۲ ج)، میزان فلاونوئید کل افزایش یافت. در سطوح بالاتر توان، میزان فلاونوئید کل کاهش یافت. بر طبق شکل ۲ د، در کمترین مقدار

نمونه با گذشت زمان، میزان فلاونوئید کل، افزایش یافت. در سطوح بالای توان، کاهش در میزان ترکیبات فلاونوئیدی مشاهده گردید. اثر افزایش توان، افزایش قدرت میدان الکتریکی می باشد. در نتیجه مواد دی الکتریک درون نمونه را سریعتر گرم می کند. اختلاف اثر توان مایکروویو در کاهش یا افزایش ترکیبات مختلف می تواند بدین علت باشد که حرارت دهی انتخابی و افتراقی درون یک ماده روی می دهد زیرا هر ترکیب ویژگی های جذب مایکروویو (ثابت دی الکتریک و فاکتور افت) متفاوتی دارد (Hayat et al., 2010). استفاده از سطح متوسطی از توان مایکروویو جهت رسیدن به حداکثر میزان فلاونوئید از دیدگاه صنعتی و مصرف انرژی مناسب تر است (Jokić et al., 2012). افزایش زمان منجر به افزایش میزان ترکیبات

۳ (د) قدرت احیای آهن بالاتری مشاهده گردید، اما افزایش زمان موجب کاهش قدرت احیای آهن شد.

افزایش حجم حلال موجب کاهش قدرت احیای آهن گردید. افزایش حجم حلال ممکن است ترکیبات مسئول احیا کردن آهن را رقیق کند به همین دلیل با افزایش حجم حلال، قدرت احیای آهن کم شده است. توان در سطوح بالا، باعث کاهش قدرت احیای آهن گردید. توان مایکروویو بر دما اثر می‌گذارد؛ بدین صورت که افزایش توان، دمای فرآیند استخراج را افزایش می‌دهد. در همین راستا، Singh و همکاران (۲۰۱۱) عصاره ای از پوست زمینی به کمک مایکروویو استخراج کردند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن را بررسی نمودند. آنها گزارش کردند که با افزایش توان (در بیشتر از ۲۰۰ وات)، میزان آسکوربیک اسید عصاره کاهش یافته بود.

ظرفیت احیای مس

اعداد ظرفیت احیای مس در جدول ۳ نشان داده شده است. حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از استاندارد به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۸۸، ۴/۳۶ و ۰/۷۳ میلی گرم آسکوربیک اسید بر گرم بوده‌اند. این روش، قدرت احیاکنندگی آنتی‌اکسیدان‌ها در تبدیل مس دو ظرفیتی به مس تک ظرفیتی را اندازه‌گیری می‌کند (Shahidi & Zhong, 2015). رابطه معنی‌دار متغیر توان و متغیر زمان با ظرفیت احیای مس وجود داشت. افزایش توان تا ۲۰۰ وات منجر به افزایش ظرفیت احیای یون مس گردید اما با افزایش بیشتر در توان (از ۲۰۰ وات به ۳۰۰ وات)، ظرفیت احیای مس کاهش یافت. اثر متغیر زمان بر ظرفیت احیای یون مس به صورت افزایشی بود. اثر متقابل معنی‌داری بین متغیرها با ظرفیت احیای مس مشاهده نگردید.

ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن

اعداد ظرفیت کلاته‌کنندگی در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از استاندارد به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۴۸، ۰/۲۱ و ۰/۰۱ میلی گرم EDTA بر گرم می‌باشند. برخی آنتی‌اکسیدان‌ها مانند فلاونوئیدها، کلاته‌کننده‌های فلزی قدرتمندی هستند. این آنتی‌اکسیدان‌ها به آسانی یون‌های فلزی پرواکسیدانی را غیرفعال می‌کنند و بنابراین از اکسیداسیون لیپیدی که توسط یون‌های فلزی ایجاد می‌شوند، ممانعت کرده و یا به تأخیر می‌اندازند (Shahidi & Zhong, 2015). رابطه تمام متغیرها با ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن معنی‌دار بود. اثر متقابل متغیرهای توان و زمان، توان و مقدار نمونه، توان و حجم حلال، زمان و حجم حلال، و مقدار نمونه و حجم حلال معنی‌دار بودند.

فلاونوئیدی شد. Xiao و همکاران (۲۰۰۸) ترکیبات فلاونوئیدی را از ریشه گون به کمک مایکروویو استخراج نمودند و گزارش کردند که در بین زمان‌های مختلف استخراج (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه)، میزان ترکیبات فلاونوئیدی بیشتری تا زمان ۲۵ دقیقه به دست آوردند.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره

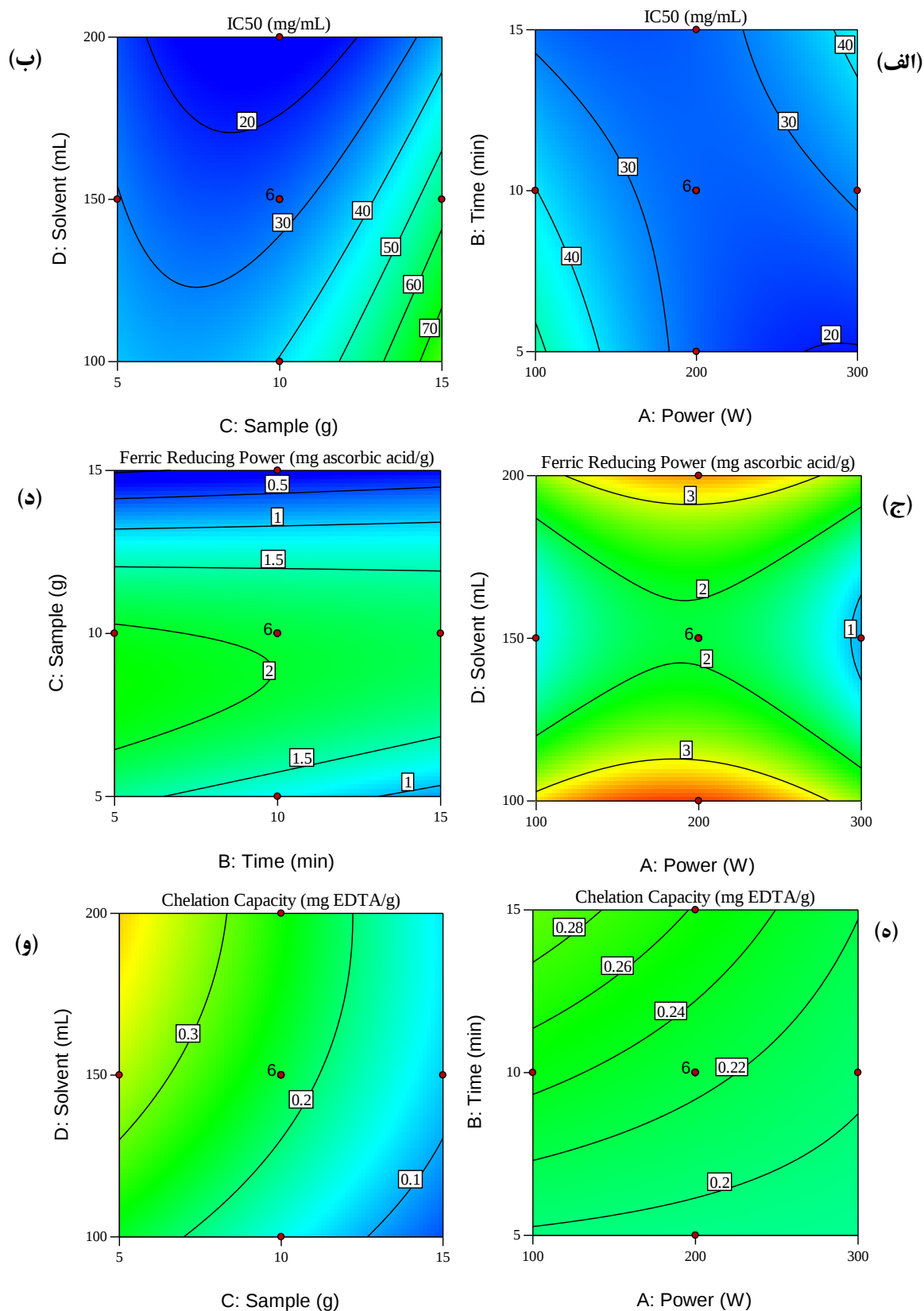
مهار رادیکال آزاد DPPH

اعداد IC_{50} در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از استاندارد به ترتیب ۱۷/۰۰، ۴۲/۱۴ و ۳/۰۷ میلی گرم در میلی لیتر می‌باشند. هرچه میزان IC_{50} کمتر باشد نشان‌دهنده فعالیت مهار رادیکال آزاد بیشتر خواهد بود. فنل‌ها و فلاونوئیدها مسئول فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد هستند (Singh et al., 2009). رابطه معنی‌دار متغیرهای توان، حجم حلال و مقدار نمونه با IC_{50} مشاهده گردید. اثر متقابل متغیرهای توان و زمان، توان و مقدار نمونه، توان و حجم حلال، زمان و حجم حلال، و مقدار نمونه و حجم حلال معنی‌دار بودند. بر اساس شکل ۳ (الف) در کمترین زمان، افزایش توان از ۱۰۰ به ۳۰۰ وات منجر به کاهش IC_{50} شد. در ۲۰۰ میلی لیتر حلال (شکل ۳ (ب))، افزایش مقدار نمونه نزدیک به ۷ گرم، IC_{50} کاهش یافت و با افزایش مقدار نمونه از این میزان، افزایش نشان داد.

قدرت احیای آهن

اعداد ظرفیت احیای آهن در جدول ۳ و شکل ۳ گزارش شده است. حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از استاندارد به ترتیب ۰/۲۴، ۴/۰۷، ۱/۶۹ و ۰/۱۴ میلی گرم آسکوربیک اسید بر گرم بودند. برای بررسی کیفیت عصاره به دست آمده، آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی انجام شدند. روش قدرت احیاکنندگی آهن، یک روش غیررادیکالی بر پایه انتقال الکترون است که احیای کمپلکس یون فریک-لیگاند به کمپلکس یون فرس-لیگاند را توسط آنتی‌اکسیدان‌ها اندازه می‌گیرد. این روش، همبستگی ضعیفی با دیگر روش‌های اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که این روش در ترکیب با روش‌های دیگر در تشخیص مکانیسم‌های غالب برای آنتی‌اکسیدان‌های مختلف مورد استفاده قرار بگیرد (Shahidi & Zhong, 2015).

رابطه معنی‌دار متغیرهای توان، زمان، مقدار نمونه و حجم حلال با قدرت احیای آهن وجود داشت. اثر متقابل متغیرهای توان و زمان، توان و حجم حلال، زمان و مقدار نمونه، و زمان و حجم حلال معنی‌دار بودند. در کمترین حجم حلال (شکل ۳ (ج))، افزایش توان تا تقریباً ۲۰۰ وات، منجر به افزایش قدرت احیای آهن گردید اما در سطوح بالاتر توان، قدرت احیای آهن کاهش یافت. در زمان ۵ دقیقه و ۵ گرم نمونه (شکل



شکل ۳- اثر متغیرهای توان، زمان، مقدار نمونه و حجم حلال بر IC_{50} ، قدرت احیای آهن و ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن.

جدول ۴- میزان بازدهی، ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی استخراج شده به کمک مایکروویو به صورت پیش‌بینی شده و به صورت تجربی در شرایط بهینه و مقایسه با روش استخراج به کمک همزن مغناطیسی

پاسخ	تجربی (مایکروویو)	پیش‌بینی شده	خطا (درصد)	همزن مغناطیسی	اختلاف (درصد)
میزان بازدهی ^۱	۱۲/۷۳	۱۱/۵۷	-۹/۱۱	۱۳/۱۶	۳/۳۸
میزان ترکیبات فنل کل ^۲	۱۵۰۸۰/۸۰	۱۵۵۵۰/۵۰	۳/۱۱	۱۶۰۰۳/۷۴	۶/۱۲
میزان فلاونوئید کل ^۳	۱۳۸۷/۹۰	۱۴۷۶/۲۲	۶/۳۶	۱۴۳۶/۷۴	۳/۵۲
IC ₅₀ ^۴	۱۱/۹۶	۱۱/۳۳	-۵/۲۶	۱۱/۲۳	-۶/۱۰
قدرت احیای آهن ^۵	۶/۹۸	۷/۱۲	۲/۰۰	۷/۰۶	۱/۱۴
ظرفیت احیای مس ^۶	۵/۹۹	۶/۴۴	۷/۵۱	۶/۱۸	۳/۱۷
ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن ^۷	۰/۴۱	۰/۴۳	۴/۸۷	۰/۴۴	۷/۳۱

^۱ درصد، ^۲ میکروگرم معادل گالیک اسید بر گرم نمونه؛ ^۳ میکروگرم معادل کوئرستین بر گرم نمونه؛ ^۴ میلی‌گرم در میلی لیتر؛ ^۵ میلی‌گرم آسکوربیک اسید بر گرم نمونه؛ ^۶ میلی‌گرم آسکوربیک اسید بر گرم نمونه؛ ^۷ میلی‌گرم EDTA بر گرم نمونه

آنتی‌اکسیدانی عصاره استخراج شده به کمک مایکروویو با استخراج به کمک همزن مغناطیسی وجود نداشت

نتیجه‌گیری

استخراج عصاره پوسته دانه نارنج به کمک مایکروویو از نظر میزان بازدهی، میزان ترکیبات زیست‌فعال (فنل و فلاونوئید کل) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال آزاد، قدرت احیای آهن، ظرفیت احیای مس و ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن) بهینه‌سازی گردید. نتایج بیانگر آن بود که استخراج به کمک مایکروویو، روشی مناسب و کاربردی برای استخراج عصاره از پوسته دانه نارنج با حفظ ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. همچنین، تفاوتی بین میزان بازدهی، میزان ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی روش مایکروویو با روش متداول مشاهده نگردید.

بر اساس شکل ۳ (ه) در زمان ۱۵ دقیقه استخراج عصاره و در توان ۱۰۰ وات ظرفیت کلاته‌کنندگی آهن بیشتری وجود داشت که با افزایش توان از ۱۰۰ به ۳۰۰ وات، ظرفیت کلاته‌کنندگی عصاره کاهش یافت. در ۲۰۰ میلی‌لیتر حلال، افزایش مقدار نمونه از ۵ به ۱۵ گرم، موجب کاهش ظرفیت کلاته‌کنندگی گردید (شکل ۳ (و)).

بهینه‌سازی بازدهی و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی

نتایج بهینه‌سازی میزان بازدهی، میزان ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره در جدول ۴ نشان داده شده است. شرایط بهینه، ۲۰۰ وات توان، ۱۲ دقیقه زمان استخراج، ۵ گرم نمونه و ۲۰۰ میلی‌لیتر حلال به‌دست آمد. شرایط بهینه استخراج به کمک مایکروویو با روش متداول - استخراج به کمک همزن مغناطیسی - مقایسه شد. تفاوت معنی‌داری بین بازدهی، ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت

منابع

کوشش، س.، گلمگانی، م.، ۱۳۹۴، بهینه‌سازی شرایط استخراج بتالائین از چغندر قرمز به کمک مایکروویو و ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره حاصل، نشریه فراوری و نگهداری مواد غذایی، ۷، ۶۰-۳۹.

AACC, American Association of Cereal Chemists. 2000.

Anal, A.K., Jaisanti, S., & Noomhorm, A., 2014, Enhanced yield of phenolic extracts from banana peels (*Musa acuminata* Colla AAA) and cinnamon barks (*Cinnamomum varum*) and their antioxidative potentials in fish oil. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2632-2639.

Ballard, T.S., Mallikarjunan, P., Zhou, K., & O'Keefe, S., 2010, Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidant compounds from peanut skins. *Food Chemistry*, 120, 1185-1192.

Bocco, A., Cuvelier, M.E., Richard, H., & Berset, C., 1998, Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2123-2129.

Chan, C.H., Yusoff, R., Ngoh, G.C., & Kung, F.W.L., 2011, Microwave-assisted extractions of active ingredients from plants. *Journal of Chromatography A*, 1218, 6213-6225.

Chavan, P., Singh, A. K., & Kaur, G., 2018, Recent progress in the utilization of industrial waste and by-products of citrus fruits: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 41, e12895.

Chuyen, H.V., Nguyen, M.H., Roach, P.D., Golding, J.B., & Parks, S.E., 2018, Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction for recovering carotenoids from Gac peel and their effects on antioxidant capacity of the extracts. *Food Science & Nutrition*, 6, 189-196.

- Dahmoune, F., Boulekbache, L., Moussi, K., Aoun, O., Spigno, G., & Madani, K., 2013, Valorization of *Citrus limon* residues for the recovery of antioxidants: evaluation and optimization of microwave and ultrasound application to solvent extraction. *Industrial Crops and Products*, 50, 77-87.
- Fidelis, M., Santos, J. S., Escher, G. B., do Carmo, M. V., Azevedo, L., da Silva, M. C., Putnik, P., & Granato, D., 2018, *In vitro* antioxidant and antihypertensive compounds from camu-camu (*Myrciaria dubia* Mcvaugh, Myrtaceae) seed coat: A multivariate structure-activity study. *Food and Chemical Toxicology*, 120, 479-490.
- Figuerola, J. G., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., & Segura-Carretero, A., 2018, Comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in the seed and seed coat of avocado by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food research international*, 105, 752-763.
- Golmakani, M.T., & Moayyedi, M., 2016, Comparison of microwave-assisted hydrodistillation and solvent-less microwave extraction of essential oil from dry and fresh Citruslimon (*Eureka variety*) peel. *Journal of Essential Oil Research*, 28, 272-282.
- Güneşer, B. A., & Yilmaz, E., 2017, Effects of microwave roasting on the yield and composition of cold pressed orange seed oils. *Grasas y Aceites*, 68, e175.
- Habibi, M., Golmakani, M.T., Mesbahi, G., Majzoobi, M., & Farahnaky, A., 2015, Ultrasound-accelerated debittering of olive fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 105-115.
- Hayat, K., Zhang, X., Chen, H., Xia, S., Jia, C., & Zhong, F., 2010, Liberation and separation of phenolic compounds from citrus mandarin peels by microwave heating and its effect on antioxidant activity. *Separation and Purification Technology*, 73, 371-376.
- Hemwimon, S., Pavasant, P., & Shotipruk, A., 2007, Microwave-assisted extraction of antioxidative anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia*. *Separation and Purification Technology*, 54, 44-50.
- Jokić, S., Cvjetko, M., Božić, Đ., Fabek, S., Toth, N., Vorkapić-Furač, J., & Redovniković, I.R., 2012, Optimisation of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from broccoli and its antioxidant activity. *International Journal of Food Science & Technology*, 47, 2613-2619.
- Kumar, K., Yadav, A.N., Kumar, V., Vyas, P., & Dhaliwal, H.S., 2017, Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, 4, 18.
- Maran, J.P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R., 2014, Microwave assisted extraction of pectin from waste Citrullus lanatus fruit rinds. *Carbohydrate polymers*, 101, 786-791.
- Marin, F. 2017, Main Industrial Citrus By-Products in Spain— Citrus Dietary Fiber. P 409-428. In: X. Ye (ed.) *Phytochemicals in Citrus: Applications in Functional Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Oyetayo, V.O., Dong, C.H., & Yao, Y.J., 2009, Antioxidant and antimicrobial properties of aqueous extract from *Dictyophora indusiata*. *The Open Mycology Journal*, 3, 20-26.
- Pascu, M., Pascu, D.E., Trăistaru, G.A., Nechifor, A.C., Bunaciu, A.A., & Aboul-Enein, H.Y., 2014, Different spectrophotometric methods for antioxidant activity assay of four Romanian herbs. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 11, 315-321.
- Proestos, C., & Komaitis, M., 2008, Application of microwave-assisted extraction to the fast extraction of plant phenolic compounds. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 652-659.
- Rekha, C., Poornima, G., Manasa, M., Abhipsa, V., Devi, J.P., Kumar, V.H.T. & Kekuda, T.R.P., 2012, Ascorbic acid, total phenol content and antioxidant activity of fresh juices of four ripe and unripe citrus fruits. *Chemical Science Transactions*, 1, 303-310.
- Sagar, N.A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E.M., & Lobo, M.G., 2018, Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 512-531.
- Satari, B., & Karimi, K., 2018, Citrus processing wastes: environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 153-167.
- Shahidi, F., & Zhong, Y., 2015, Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757-781.
- Simić, V.M., Rajković, K.M., Stojičević, S.S., Veličković, D.T., Nikolić, N.Č., Lazić, M.L., & Karabegović, I.T., 2016, Optimization of microwave-assisted extraction of total polyphenolic compounds from chokeberries by response surface methodology and artificial neural network. *Separation and Purification Technology*, 160, 89-97.
- Singh, A., Sabally, K., Kubow, S., Donnelly, D.J., Garipey, Y., Orsat, V., & Raghavan, G.S.V., 2011, Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidants from potato peels. *Molecules*, 16, 2218-2232.
- Singh, B.N., Singh, B.R., Singh, R.L., Prakash, D., Singh, D.P., Sarma, B.K., Upadhyay, G., & Singh, H.B., 2009, Polyphenolics from various extracts/fractions of red onion (*Allium cepa*) peel with potent antioxidant and antimutagenic activities. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 1161-1167.
- Setyaningsih, W., Saputro, I.E., Palma, M., & Barroso, C.G., 2015, Optimisation and validation of the microwave-assisted extraction of phenolic compounds from rice grains. *Food Chemistry*, 169, 141-149.
- Vinatoru, M., Mason, T.J., & Calinescu, I., 2017, Ultrasonically assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials. *Trends in Analytical Chemistry*, 97, 159-178.

Xiao, W., Han, L., & Shi, B., 2008, Microwave-assisted extraction of flavonoids from Radix Astragali. *Separation and Purification Technology*, 62, 614-618.

Ye, X., Chen, J., Xu, J., & Chen, J., 2017, Citrus Fruits, Varieties, Chemical Properties, and Products in the Processing Industry. P.1-36. In: X. Ye (ed.) *Phytochemicals in Citrus: Applications in Functional Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Yilmaz, E., & Güneşer, B. A., 2017, Cold pressed versus solvent extracted lemon (*Citrus limon* L.) seed oils: yield and properties. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1891-1900.



Optimization of antioxidant properties of sour orange seed coat extract using microwave-assisted extraction

M. T. Golmakani^{1*}, Gh. R. Mesbahi², N. Alavi³, A. Hosseinzade Farbudi⁴

Received: 2018.12.21

Accepted: 2019.06.16

Introduction: Food wastes and losses are produced during all phases of food life cycles. The highest wastes belong to the processing of fruits and vegetables. Bioactive compounds have the potential to be extracted from the by-products of fruits and vegetables which can be used in the food processing. Extraction of flavor compounds, phenolic compounds, enzymes, and organic acids from wastes of fruits – pomace, peel, and seeds of citrus fruits, pomace and leave of apple, seeds of grape, and peel of kiwifruit – and vegetables – pomace of carrot, husk of garlic, skin of onion, peel of potato, and skin of tomato – have been reported (Sagar *et al.*, 2018).

Sour orange, *Citrus aurantium*, is one of the species of citrus fruits. Sour orange seeds contain fats, protein, and bitter compounds which affect citrus processing (Ye *et al.*, 2017). Naringin, neohesperidin, flavon, caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, and sinapic acid have been detected in methanolic extract of sour orange seeds (Bocco *et al.*, 1998).

Bioactive compounds are recovered from food wastes through various conventional and novel extraction techniques. Microwave-assisted extraction is one of the most used novel and environmentally friendly extraction methods. Advantages of microwave-assisted extraction over conventional extraction techniques include automated operation, more effective and selective heating, and less extraction time (Vinatoru *et al.*, 2017).

The objective of this study was optimization of microwave-assisted extraction of sour orange seed coat extract in terms of microwave power level, extraction time, sample quantity, and solvent volume on yield, bioactive compounds (total phenolic content and total flavonoid content), and antioxidant activity (free radical scavenging activity, ferric ion reducing antioxidant power, cupric ion reducing antioxidant capacity, and ferrous ion chelating). Also, optimum conditions of microwave-assisted extraction was compared to that of conventional magnetic stirrer-assisted extraction method.

Materials and methods: Sour orange seeds were purchased from Limondis Company (Beyza, Fars province, Iran). Microwave-assisted extraction conditions including microwave power level (100, 200, and 300 W), extraction time (5, 10, and 15 min), sample quantity (5, 10, and 15 g), and solvent (methanol volume 100, 150, and 200 mL) were optimized. Yield, bioactive compounds (total phenolic content (Habibi *et al.*, 2015) and total flavonoid content (Habibi *et al.*, 2015)), and antioxidant activity (free radical scavenging activity (Habibi *et al.*, 2015), ferric ion reducing antioxidant power (Rekha *et al.*, 2012), cupric ion reducing antioxidant capacity (Pascu *et al.*, 2014), and ferrous ion chelating (Oyetayo *et al.*, 2009)) of sour orange seed coat extract were evaluated. After determining the optimum conditions of microwave-assisted extraction, yield, bioactive compounds (total phenolic content and total flavonoid content), and antioxidant activity of sour orange seed coat extract were compared to those of conventional magnetic stirrer-assisted extraction method. Design Expert software (Version 10, Stat-Ease, Minneapolis, MN) was employed for analyzing four variables – microwave power level, extraction time, sample quantity, and solvent volume – at three levels consisting 30 experimental runs. Response surface methodology concerning central composite design (6 center points, quadratic model, and face center = 1) was applied.

Results and discussion: Optimum conditions of microwave-assisted extraction were microwave power level of 200 W, extraction time of 12 min, sample quantity of 5 g, and solvent volume of 200 mL. Under optimum conditions, yield, total phenolic content, total flavonoid content, IC₅₀, ferric ion reducing antioxidant power, cupric ion reducing antioxidant capacity, and ferrous ion chelating were 11.57%, 15550.50 µg gallic acid equivalent/g, 1476.22 µg quercetin equivalent/g, 11.33 mg/mL, 7.12 mg ascorbic/g, 6.44 mg ascorbic acid/g, and 0.43 mg EDTA/g, respectively. Intermediate microwave power level (200 W) can be more suitable from an industrial perspective and energy consumption (Jokić *et al.*, 2012). Further increase in microwave power level, i.e. higher than 200 W, causes thermal degradation of bioactive compounds (Dahmoune *et al.*, 2013), decreasing total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity of sour orange seed coat extract. The highest extraction time gives the bioactive compounds a chance to diffuse and release from the cell matrix to the surrounding environment (solvent). The highest solvent volume was selected as the optimum extraction condition. By increasing solvent volume up to 200 mL, meaning a greater gradient in bioactive compound concentration,

1, 2, 3 and 4. Associate Professor, Assistant Professor, PhD Student, Former MSc Student, Department of Food Science and Technology, Shiraz University, Shiraz, Iran
(*Corresponding Author Email: golmakani@shirazu.ac.ir)

mass transfer was also improved (Dahmoune *et al.*, 2013). Also, the minimum sample quantity (5 g) was determined in optimum conditions. Increasing sample quantity (while the solvent volume remained constant) reduces the surface area available for the solvent to penetrate the sample matrix. As a result, higher sample quantity caused lower extraction of bioactive compounds (Ballard *et al.*, 2010). There were no significant differences between yield, bioactive compounds, and antioxidant activity of extract obtained by conventional-assisted extraction method in comparison with those of microwave-assisted extraction. In conclusion, microwave-assisted extraction, as a green and fast method, can be proposed as a suitable and practical method for extraction of bioactive compounds from sour orange seed coat.

Keywords: Antioxidant activity, Extraction, Microwave, Sour orange seed coat

مقاله پژوهشی

تأثیر آرد بلوط و پودر کدو حلوائی بر برخی ویژگی‌های تغذیه‌ای، بیاتی و حسی کیک شکلاتی بدون گلوتن

سمیه دمیرچی^۱ - مانیا صالحی‌فر^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰

چکیده

بیماری سلیاک منتسب به دریافت پروتئین گلوتن از غلات اصلی به‌ویژه گندم، یکی از رایج‌ترین حساسیت‌های غذایی محسوب می‌گردد. تنها معالجه مؤثر این بیماران، رژیم غذایی بدون گلوتن می‌باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی امکان تولید کیک شکلاتی بدون گلوتن حاوی آرد بلوط (۳۰ و ۴۰٪)، پودر کدو حلوائی (۵، ۱۰ و ۱۵٪) همراه با آرد برنج (۱۰۰٪) بعنوان نمونه شاهد، ۴۵، ۵۰، ۵۵، ۶۰ و ۶۵٪ همراه با آرد بلوط و کدو حلوائی بود. در این مطالعه تأثیر استفاده از آرد بلوط و پودر کدو تنبل بر خواص تغذیه‌ای کیک (فیبر، بتاکاروتن)، رطوبت، فعالیت آبی، بیاتی، حجم مخصوص، سفتی و خصوصیات حسی آن مورد آزمون قرار گرفت. افزایش سطوح به‌کارگیری آرد بلوط و پودر کدو تنبل در فرمولاسیون کیک شکلاتی فاقد گلوتن به‌طور مستقیم فعالیت آبی، محتوی فیبر رژیمی و محتوی بتاکاروتن کیک‌های شکلاتی را افزایش داد. همچنین مشخص شد که با افزایش درصد آرد بلوط و پودر کدو تنبل میزان بیاتی در محصول کاهش یافت. بر مبنای نتایج به‌دست آمده از ارزیابی حسی، همه خصوصیات حسی (بافت، طعم، بو و شکل ظاهری و پذیرش کلی) به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) تحت تأثیر استفاده از سطوح مختلف آرد بلوط و پودر کدو تنبل قرار گرفت. طبق بررسی و ارزیابی‌های صورت گرفته از نظر فیزیکیوشیمیایی و حسی تیمار T2 با (۳۰٪ آرد بلوط، ۱۰٪ پودر کدو تنبل و ۶۰٪ آرد برنج) به‌عنوان تیمار منتخب پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: آرد بلوط، بتاکاروتن، بدون گلوتن، پودر کدو حلوائی، کیک شکلاتی

مقدمه

ترکیب اصلی مسئول تعیین کیفیت کیک می‌باشد و در گندم، جو، چاودار و یولاف به وفور وجود دارد، ولی در بیماران سلیاکی ایجاد مشکل می‌نماید. بنابراین جهت تولید محصولات بدون گلوتن به گونه‌های که قابلیت استفاده توسط این دسته از بیماران را داشته باشد، میتوان از مواد نشاسته‌های (ذرت، سیب زمینی و برنج)، آرد بعضی از غلات نظیر ارزن، سورگوم، کاساوا و گندم سیاه که عاری از گلوتن هستند، نیز در تهیه محصولات بدون گلوتن استفاده کرد (Bent et al., 2013; Moore et al., 2004; Green and Jabri, 2003).

سلیاک بیماری مزمن و ژنتیکی است که در اثر دریافت پروتئین گلوتن از منابعی نظیر گندم، جو، چاودار و یولاف تشدید می‌شود (Thompson, 2001). بیماری سلیاک با اینکه شیوع کمتری نسبت به سایر بیماری‌های گوارشی دارد ولی کم اهمیت‌تر از آنها نمی‌باشند (Akbari et al., 2006) بطوریکه در موارد درمان نشده، پاسخ ایمنی و التهابی خیلی شدید، نهایتاً منجر به آسیب مخاط روده و کاهش اعمال طبیعی روده باریک در فرد می‌شود (Lohi et al., 2007). از آنجاییکه تنها معالجه مؤثر این بیماران، استفاده از یک رژیم غذایی بدون گلوتن در تمام طول عمر است (Gallagher et al., 2004)،

کیک به‌عنوان یکی از محصولات صنایع نانوائی دارای تنوع بالایی بوده و در بین افراد جامعه به‌خصوص کودکان و نوجوانان طرفداران زیادی دارد. این محصول نوعی شیرینی با بافت و نرمی مخصوص می‌باشد که جزء دسته غذاهای پخته طبقه‌بندی می‌شود و مواد اصلی آن را آرد، روغن (به استثنای کیک اسفنجی) شکر و تخم‌مرغ تشکیل می‌دهد. از آرد به‌عنوان در برگیرنده اجزای مختلف کیک و شکل‌دهنده آن استفاده می‌شود. این محصول بایستی دارای بافتی متخلخل، حفره‌های ریز با دیواره نازک و حالت اسفنجی باشد. هرچند که برای ایجاد تخلخل در بافت کیک می‌توان از گازکربنیک، مواد شیمیایی مجازی که گازکربونیک آزاد می‌کنند و یا عمل هوا دادن در اثر گرمی کردن روغن، شکر و تخم‌مرغ استفاده نمود، اما حفظ حالت اسفنجی کیک به عهده شبکه گلوتن است. اگرچه گلوتن

۱ و ۲ - به‌ترتیب دانشجو کارشناسی‌ارشدو دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد واحد شهر قدس، ایران.

(*) - نویسنده مسئول: Email: salehifarmania@gmail.com
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.64102

مطالعات پیرامون تولید مواد غذایی بدون گلوتن به‌ویژه محصولات صنایع پخت که قوت غالب افراد جامعه را تشکیل می‌دهد از اهمیت زیادی برخوردار است (Lopez et al., 2004). آرد بلوط حاوی مقدار بالای پروتئین با اسیدهای آمینه ضروری، مقدار نسبتاً بالای قند، نشاسته، فیبرهای رژیمی و مقدار کمی چربی است. آرد آن حاوی ویتامین E، ویتامین‌های گروه B، پتاسیم، فسفر و منیزیم می‌باشد. بر همین اساس و بر طبق مطالعات مختلف می‌توان از آرد بلوط به‌عنوان ترکیبی اساسی در تهیه محصولات بدون گلوتن استفاده کرد (Demirkesen et al., 2010). یکی از منابع فیبر که در غنی‌سازی محصولات می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، کدو تنبل می‌باشد. کدو تنبل یکی از سبزیجات پر استفاده است که خواص تغذیه‌ای و تکنولوژیکی آن برابر یا حتی بیشتر از سبزیجات با کشت وسیع می‌باشد. کدو تنبل به‌صورت تازه، پخته شده، منجمد و کنسرو شده مصرف می‌شود. مطالعاتی که در دهه‌های اخیر روی کدو تنبل انجام شده نشان‌دهنده خصوصیات ضدیابت، ضدفشار خون، ضدتومور، ضدباکتری، ضدکلسترول، ضدانگل روده‌ای، ضدالتهاب و ضد درد این محصول می‌باشد (Caili et al., 2006). Demirkesen و همکاران (۲۰۱۰) استفاده از آرد شاه بلوط را در تولید نان بدون گلوتن را بررسی کردند. در این مطالعه، فرمولاسیون نان فاقد گلوتن با استفاده از آرد شاه بلوط و آرد برنج در نسبت‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. علاوه بر این، تاثیر ترکیب هیدروکلوئید زانتان- صمغ خرنوب، زانتان- گوار صمغ مخلوط و امولسیفایر DATEM در خواص رئولوژیکی فرمولاسیون خمیر و پارامترهای کیفیت نان برای نمونه‌های حاوی نسبت آرد شاه بلوط/ آرد برنج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد نان تهیه شده با نسبت آرد شاه بلوط/ آرد برنج از ۷۰/۳۰ و حاوی مخلوط زانتان- گوار و امولسیفایر، کیفیت بالاتری از لحاظ سفتی، حجم مخصوص، رنگ و شاخص‌های حسی در شرایط یکسان بود. با این حال، افزایش میزان آرد شاه بلوط منجر به کاهش- در برخی از پارامترهای کیفی (حجم کم، بافت سخت‌تر و رنگ تیره‌تر) بدون توجه به اضافه نمودن ترکیب صمغ و امولسیفایر بود. Kundu و همکاران (۲۰۱۲) نیز مطالعاتی در زمینه افزودن پودر کدو تنبل به میزان (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) آرد و بررسی خصوصیات رئولوژیکی خمیر انجام دادند. افزودن پودر کدو تنبل به آرد سبب کاهش جذب آب که احتمالاً به علت رقیق‌سازی گلوتن بوده، افزایش مقاومت، افزایش کشش‌پذیری و مقاومت به کشش شد در حالی که زمان گسترش خمیر افزایش یافت و گاهی بدون تغییر بود. ثبات خمیر بر روی خط ۵۰۰ برابندر به علت رقابت بین نشاسته و فیبر کدو تنبل برای جذب آب طولانی‌تر شد که نشان‌دهنده مقاومت بیشتر خمیر در برابر مخلوط کردن مکانیکی بود. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت پودر کدو تنبل در فرمولاسیون، کاهش قابل توجهی در

شاخص تحمل به مخلوط شدن مشاهده می‌شود. مجذوبی و همکاران (۱۳۹۲) اثرات آرد بلوط به میزان (۱۰:۳۰، ۴۰:۳۰ و ۵۰:۵۰ وزنی/ وزنی) بر پایه آرد گندم) بر ویژگی‌های خمیر و نان بربری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از فارینوگراف نشان داد که با افزایش درصد آرد بلوط جذب آب خمیر کاهش، پایداری افزایش و درجه سست شدن و حجم خمیر پس از تخمیر کاهش یافت. با افزایش درصد آرد بلوط حجم نان کاهش، چگالی و سفتی بافت و تیرگی آن افزایش یافت. تعیین رنگ پوسته و سفتی مغز نان در طی نگهداری به مدت سه روز نشان داد که بیاتی نان با افزایش درصد آرد بلوط افزایش یافت. افزودن بیش از ۳۰ درصد آرد بلوط اثرات منفی بر ویژگی‌های حسی چشایی نان داشت. در مجموع افزودن کمتر از ۳۰ درصد آرد بلوط با آرد گندم در تهیه نان بربری پیشنهاد می‌گردد. داودی و همکاران (۱۳۹۲) اثر پودر کدو تنبل بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر و خواص فیزیکی نان تافتون را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از افزودن ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد پودر کدو تنبل به آرد گندم و انجام آزمایشات بافت‌سنجی به این نتایج رسیدند که با افزودن پودر کدو تنبل میزان آب مورد نیاز برای تهیه خمیر و همچنین حجم خمیر کاهش پیدا کرد. کشش‌پذیری خمیر با افزایش میزان پودر کدو تنبل افزایش یافت. با افزودن پودر کدو تنبل میزان بیاتی افزایش یافت. همتیان سورکی و همکاران (۱۳۹۲) تاثیر استفاده از آرد سویا و آرد بلوط بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ارگانولپتیکی کیک بدون گلوتن را مورد ارزیابی قرار دادند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک شامل رطوبت، ویژگی‌های رنگی کیک، ویژگی‌های ساختاری- بافتی، ماندگاری و خواص ارگانولپتیک کیک مافین بدون گلوتن توسط روش‌های استاندارد ملی ایران تعیین گردید. با افزایش میزان آرد سویا مقدار رطوبت و تیرگی رنگ کاهش یافت و میزان تخلخل بافت افزایش یافت. افزودن آرد بلوط موجب افزایش تیرگی رنگ بافت کیک مافین بدون گلوتن شد. با افزایش میزان آرد بلوط تخلخل بافت افزایش یافت و میزان سفتی بافت افزایش یافت. کیک حاوی آرد بلوط به دلیل تیرگی ظاهر شبیه به کیک‌های کاکائویی بود و از نظر مصرف کنندگان پذیرش بالایی داشت. استفاده از آرد سویا به دلیل میزان پروتئین بالا و آرد بلوط به دلیل وجود نشاسته با دمای ژلاتیناسیون بالا در ترکیب کیک می‌تواند جایگزین مناسبی برای گلوتن در محصولات بدون گلوتن باشد.

بنابراین با توجه به مطالعات صورت گرفته و نیاز جامعه به تولید محصولات بدون گلوتن صنایع پخت هدف از انجام این پژوهش مطالعه ارزیابی امکان تولید کیک شکلاتی بدون گلوتن حاوی آرد بلوط (۳۰ و ۴۰ درصد) و پودر کدو حلوایی (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) و تاثیر نسی آن‌ها روی خصوصیات ارگانولپتیکی و حسی محصول بود.

مواد و روش‌ها

جدول ۱- فرمولاسیون تهیه کیک شکلاتی فاقد گلوتن حاوی آرد بلوط و پودر کدو حلوائی

شماره	روغن مایع آفتابگردان (درصد)	صمغ زائون بدون گلوتن (درصد)	پیکینگ پودر بدون گلوتن (درصد)	شکر سفید (درصد)	آرد بلوط (درصد)	آرد برنج (درصد)	پودر کدو تنبل (درصد)	شک (درصد)	پودر سفیده تخم مرغ (درصد)	پودر کاکائو (درصد)	آب (درصد)
شاهد	۲۰	۱	۵	۷	-	۱۰۰	-	۲	۱۰	۵	۵۰±۵
۱	۲۰	۱	۵	۷	۳۰	۶۵	۵	۲	۱۰	۵	۵۰±۵
۲	۲۰	۱	۵	۷	۳۰	۶۰	۱۰	۲	۱۰	۵	۵۰±۵
۳	۲۰	۱	۵	۷	۳۰	۵۵	۱۵	۲	۱۰	۵	۵۰±۵
۴	۲۰	۱	۵	۷	۴۰	۵۵	۵	۲	۱۰	۵	۵۰±۵
۵	۲۰	۱	۵	۷	۴۰	۵۰	۱۰	۲	۱۰	۵	۵۰±۵
۶	۲۰	۱	۵	۷	۴۰	۴۵	۱۵	۲	۱۰	۵	۵۰±۵

جدول ۲- تیمارهای مورد بررسی

کد تیمار	آرد برنج (درصد)	آرد بلوط (درصد)	پودر کدو تنبل (درصد)
شاهد	۱۰۰	-	-
۱	۶۵	۳۰	۵
۲	۶۰	۳۰	۱۰
۳	۵۵	۳۰	۱۵
۴	۵۵	۴۰	۵
۵	۵۰	۴۰	۱۰
۶	۴۵	۴۰	۱۵

تهیه خمیر و تولید کیک

میوه‌های بلوط از بازار محلی ارومیه جمع‌آوری و در مکان سرد و تاریک نگهداری شد. ابتدا پوست نسبتاً سخت چوبی و پوست تاننی داخلی از مغز بلوط جدا شدند، سپس مغز بلوط را توسط آسیاب آزمایشگاهی Berjaya به صورت قطعاتی به ابعاد ۲ میلی‌متر خرد و توسط آسیاب آزمایشگاهی تا ابعاد ۲۰۰ تا ۵۰۰ میکرون آسیاب شدند (عبدالهادی و هبیب، ۲۰۰۳). خمیرگیری به روش دو مرحله‌ای انجام شد. ابتدا شکر، روغن، آب و سایر مواد مایع با هم توسط مخلوط‌کن

آزمایشگاهی (EB124101) با سرعت ۴۰ دور در دقیقه مخلوط تا امولسیون همگن ایجاد شد، سپس سایر مواد خشک به ترکیب اضافه و به مدت ۳ دقیقه با سرعت ۲۰ دور در دقیقه مخلوط شدند. ۵۰ گرم خمیر بدون گلوتن درون قالب‌های لیوانی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر شکل از جنس ضدزنگ که با کاغذهای روغنی پوشانده شده بود پر شده و به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد توسط فر پخت تکنو پخته شدند. سپس کیک بدون گلوتن تا دمای محیط (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد) سرد و درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در دمای محیط جهت انجام آزمایشات نگهداری شدند.

آزمون‌های آرد

آزمون‌ها با سه تکرار آزمون رطوبت، فیبر خام، خاکستر و پروتئین آرد به‌ترتیب با روش مصوب استاندارد AACC (۲۰۰۰) با شماره‌های 44-15A، 32-10، 08-01 و 46-12 انجام شد.

آزمون‌های انجام شده بر روی محصول

آزمون فیبر رژیمی و بتاکاروتن به‌ترتیب با روش مصوب استاندارد AACC (۲۰۰۰) به شماره‌های ۱۰-۳۲ و ۶۰-۱۴ و آزمون فعالیت آبی و رطوبت طبق استاندارد ملی ایران شماره ۳۷، برای اندازه‌گیری سفتی محصول پس از گذشت ۱، ۷ و ۱۴ روز از دستگاه بافت‌سنج طبق استاندارد AACC به شماره ۷۴-۰۹ استفاده شد. آزمون بیاتی با استفاده از آزمایش پانچر به کمک دستگاه اینستران (داوودی و همکاران، ۱۳۹۲)، آزمون حسی به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای؛ به روش Lawless and Heymann, 2010 انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای انجام آزمایشات از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن، در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p < 0.05$) و با نرم‌افزار SPSS نسخه ۹/۱ صورت گرفت.

نتایج و بحث

آرد

با توجه به آزمون‌های صورت گرفته میزان رطوبت، فیبر خام، خاکستر و پروتئین آرد طبق جدول شماره ۳ آورده شده است.

محصول نهایی

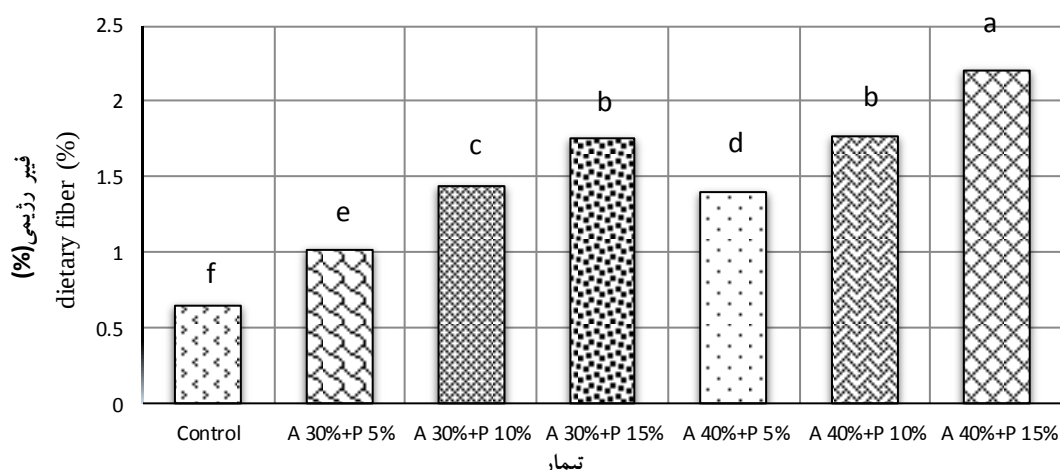
همانگونه که در شکل ۱ آمده است، با افزایش سطح آرد بلوط و پودر کدو تنبل محتوی فیبر محصول نهایی نیز به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت. آرد بلوط و پودر کدو تنبل حاوی مقادیر قابل توجهی فیبر می‌باشند (Sacchetti et al., 2004; Ya-qin, 2004)، لذا به‌کارگیری آن‌ها در فرمولاسیون کیک شکلاتی بدون گلوتن موجب افزایش محتوی فیبر کل در محصول نهایی شد. نتایج به‌دست

جدول ۳- نتایج ارزیابی آزمون‌های مربوط به آرد (بلوط و پودر کدو حلوایی)

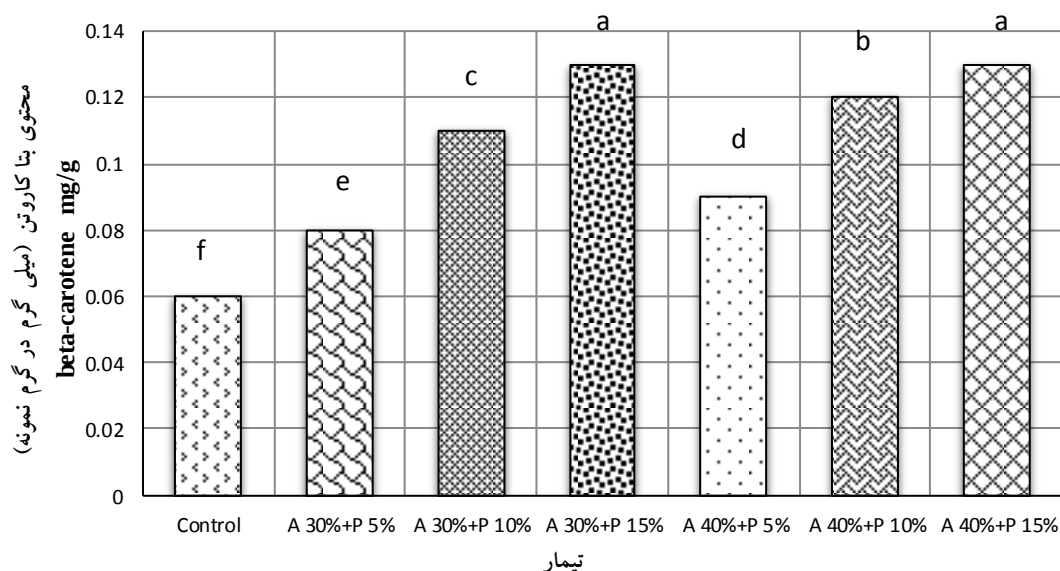
آزمون	رطوبت (درصد)	فیبر خام (درصد)	خاکستر (درصد)	پروتئین (درصد)
آرد بلوط	۵/۰۲	۳/۸۹	۲/۱۷	۳/۱۱
پودر کدو تنبل	۴/۰۲	۷/۳۱	۶/۱۵	۳/۰۵
آرد برنج	۹/۰۷	۹/۶	۰/۵۵	۱۵/۲۶

آمده در طی این مطالعه با نتایج دیگر محققان مطابقت داشت. Sabanis و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با به‌کارگیری منابع فیبری مختلف (گندم، جو، یولاف و ذرت) محتوی فیبر نان بدون گلوتن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

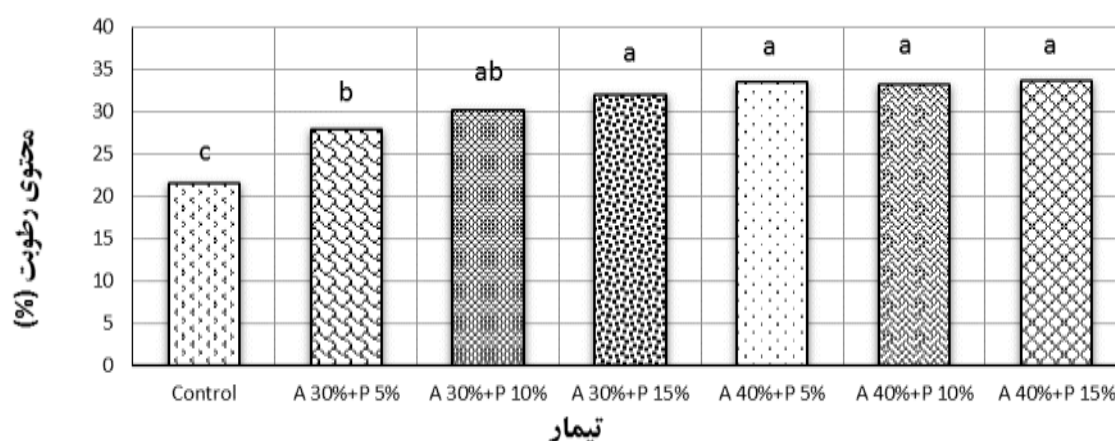
از طرفی با افزایش سطح جایگزینی فیبر رژیمی در فرمولاسیون کیک اسفنجی میزان فعالیت آبی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت (شکل ۲)؛ دلیل این امر احتمالاً به خاطر آن است که با افزایش سطح فیبرهای رژیمی در فرمولاسیون کیک اسفنجی، میزان نگهداری آب در ساختار محصول نهایی نیز بیشتر شده است.



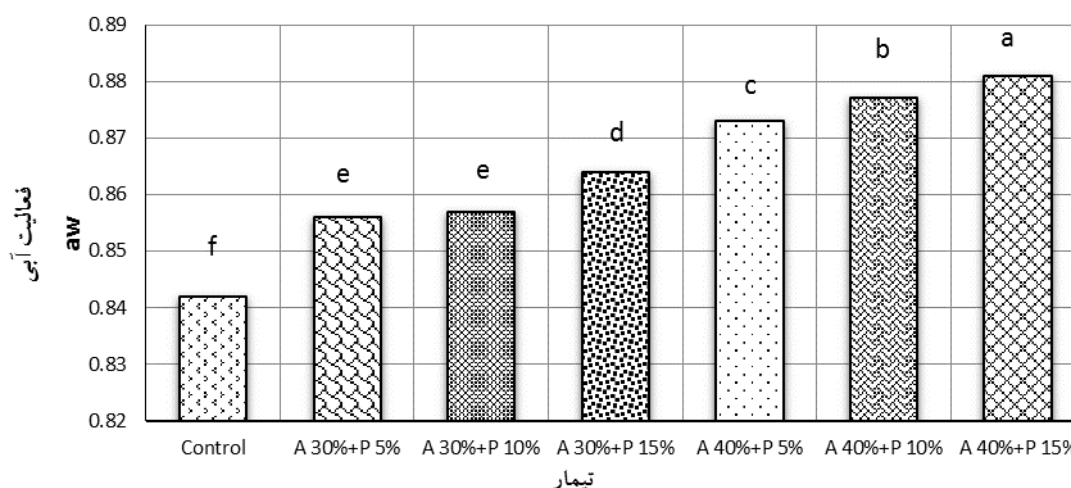
شکل ۱- تأثیر سطوح آرد بلوط و پودر کدو تنبل بر فیبر رژیمی کیک شکلاتی بدون گلوتن
حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($P < 0.05$)



شکل ۲- تأثیر سطوح آرد بلوط و پودر کدو تنبل بر بتا کاروتن (میلی گرم در گرم نمونه) کیک شکلاتی بدون گلوتن
حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($P < 0.05$)



شکل ۳- تأثیر سطوح آرد بلوط و پودر کدو تنبل بر رطوبت (میلی گرم در گرم نمونه) کیک شکلاتی بدون گلوتن
حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($P < 0.05$)



شکل ۴- تأثیر سطوح آرد بلوط و پودر کدو تنبل بر فعالیت آبی کیک شکلاتی بدون گلوتن
حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($P < 0.05$)

($p < 0.05$) سبب افزایش محتوی بتاکاروتن در محصول نهایی شد. با توجه به آن که کاروتنوئیدها بخصوص بتاکاروتن اجزای اصلی کاروتنوئیدی موجود در کدو تنبل می‌باشند (Dutta et al., 2006)، بنابراین افزایش مقادیر پودر کدو تنبل در فرمولاسیون کیک شکلاتی فاقد گلوتن به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) محتوی بتاکاروتن نمونه‌ها را افزایش داد.

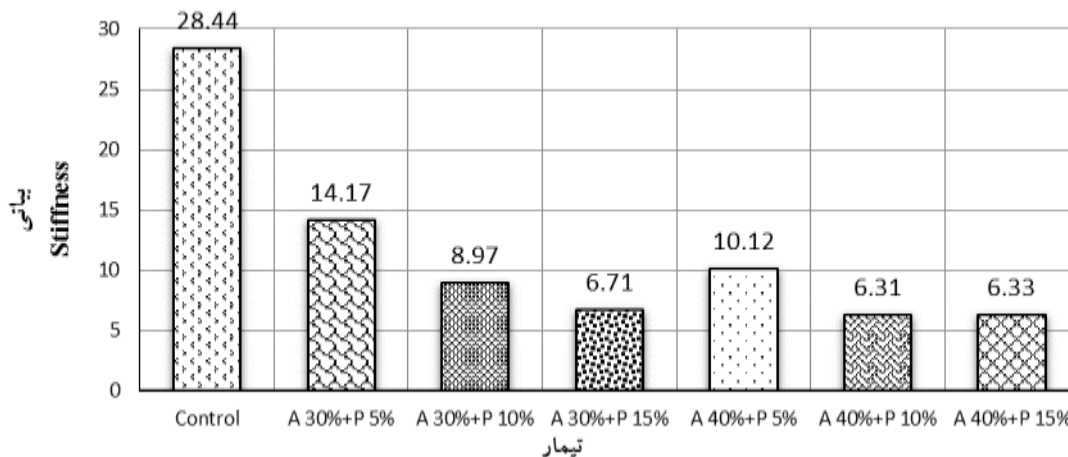
همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شد افزایش سطح آرد بلوط و پودر کدو تنبل در فرمولاسیون کیک شکلاتی فاقد گلوتن محتوی رطوبت از ۲۱/۱۵ درصد تا ۳۳/۷۱ درصد به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت. با افزایش محتوی آرد بلوط و پودر کدو تنبل مقدار فیبر موجود در فرمول کیک شکلاتی بدون گلوتن افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش فیبر محتوی رطوبت به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش

Martínez-Cervera و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که به‌کارگیری فیبر دانه کاکائو در فرمولاسیون کیک مافین شکلاتی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش محتوی رطوبت کیک شد. Bhat و همکاران (۲۰۱۰) طی مطالعه روی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی کیک حاوی پودر کدو تنبل اینگونه اعلام کردند که بالاترین میزان رطوبت زمانی حاصل شد که از نسبت ۷۰:۳۰ نسبت آرد گندم تصفیه شده به پودر کدو تنبل ۷۰:۳۰ بود

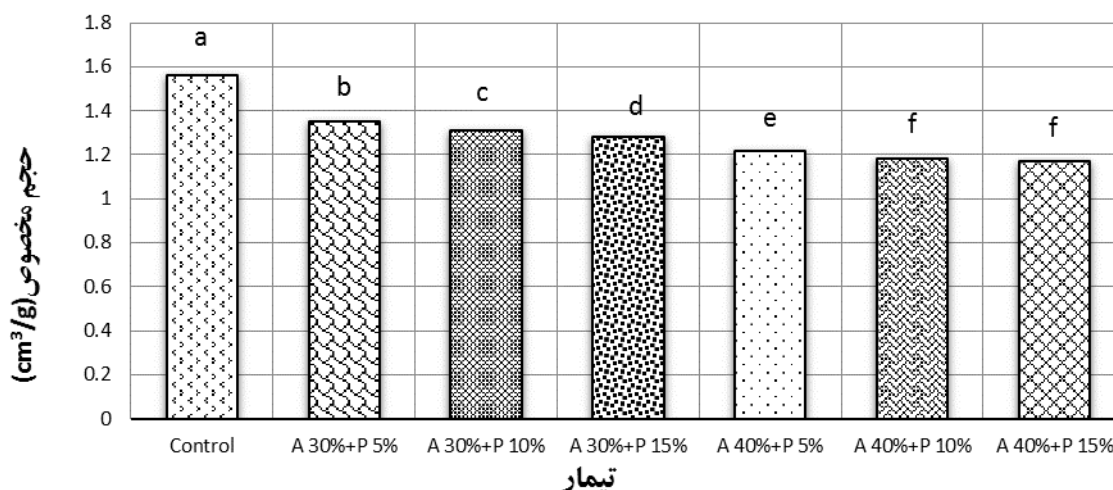
شکل ۲ نتایج افزودن درصدهای مختلف آرد بلوط و پودر کدو تنبل به فرمولاسیون کیک شکلاتی فاقد گلوتن و تأثیر آن‌ها روی محتوی بتاکاروتن محصول نهایی را نشان می‌دهد، محتوی بتاکاروتن کیک‌های شکلاتی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر میزان آرد بلوط قرار نگرفت ($p > 0.05$)، اما افزایش سطح پودر کدو تنبل به‌طور معنی‌داری

رطوبت در نتیجه افزایش میزان فیبر توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است. Martínez-Cervera و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند که به کارگیری فیبر دانه کاکائو در فرمولاسیون کیک مافین شکلاتی به طور معنی داری سبب افزایش محتوی رطوبت کیک شد.

یافت. محتوی رطوبتی بالاتر در نمونه‌های با میزان فیبر بیشتر احتمالاً در ارتباط با ظرفیت حفظ و نگهداری آب توسط فیبر رژیمی گندم می‌باشد (Martínez-Cervera et al., 2011). این حالت می‌تواند تأثیر مثبتی روی پارامترهای حسی داشته باشد. افزایش محتوی



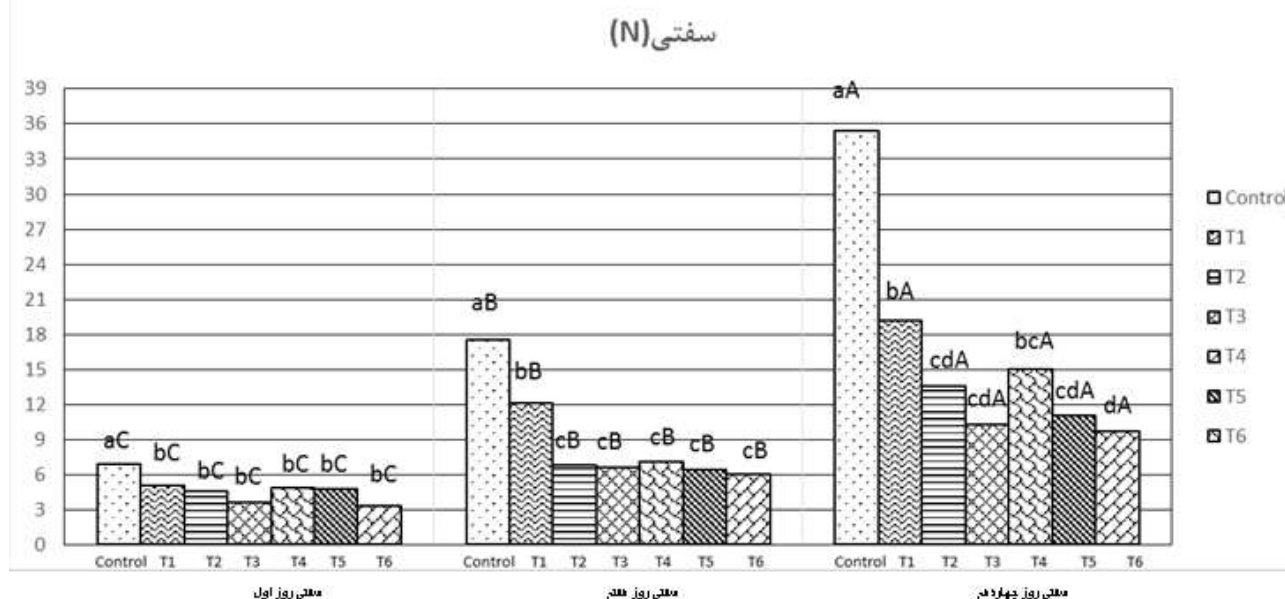
شکل ۵- تأثیر سطوح آرد بلوط و پودر کدو تنبل بر بیاتی کیک شکلاتی بدون گلوتن
حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($P < 0.05$)



شکل ۶- تأثیر سطوح آرد بلوط و پودر کدو تنبل بر حجم مخصوص کیک شکلاتی بدون گلوتن
حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($P < 0.05$)

با توجه به شکل ۵ بیاتی نمونه‌های مختلف افزایش یافت که این میزان افزایش بیاتی در مورد تیمار شاهد بیشتر از سایر تیمارها بود. در مورد تیمارهای حاوی درصد‌های مختلف آرد بلوط و پودر کدو تنبل مشخص شد که با افزایش درصد آرد بلوط و پودر کدو تنبل میزان بیاتی کاهش یافت. دلیل کاهش بیاتی با توجه به افزایش سطح آرد بلوط و پودر کدو تنبل در فرمولاسیون کیک شکلاتی بدون گلوتن را میتوان به وجود فیبر در این مواد نسبت داد و بر اساس این فرضیه توجیه نمود که افزایش میزان فیبر به دلیل توانایی ویژه آن در حفظ رطوبت داخل بافت کیک می‌باشد (حاج احمدی و همکاران، ۱۳۹۳).

همانطور که از نتایج به دست آمده طی این پژوهش مشخص است (شکل ۴) فعالیت آبی نمونه‌ها در محدوده ۰/۸۴۲ تا ۰/۸۸۱ می‌باشد. با افزایش سطح جایگزینی فیبر رژیمی در فرمولاسیون کیک اسفنجی میزان فعالیت آبی به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت. دلیل این امر احتمالاً به خاطر آن است که با افزایش سطح فیبرهای رژیمی در فرمولاسیون کیک اسفنجی، میزان نگهداری آب در ساختار محصول نهایی نیز بیشتر خواهد شد که نتیجه چنین عملی افزایش فعالیت آبی محصول خواهد بود (Dikeman, & Fahey Jr, 2006).



شکل ۷- تأثیر سطوح آرد بلوط و پودر کدو تنبل بر سفتی بافت کیک شکلاتی بدون گلوتن

حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($P < 0.05$)

در مورد تیمار شاهد بیشتر از سایر تیمارها بود. در مورد تیمارهای حاوی درصد‌های مختلف آرد بلوط و پودر کدو تنبل مشخص شد که با افزایش درصد آرد بلوط و پودر کدو میزان سفتی از لحاظ آماری به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافت. دلیل کاهش سفتی بافت با توجه به افزایش سطح آرد بلوط و پودر کدو تنبل در فرمولاسیون کیک شکلاتی بدون گلوتن را می‌توان به وجود فیبر در این مواد نسبت داد و بر اساس این فرضیه توجیه نمود که افزایش میزان فیبر به‌دلیل توانایی ویژه آن در حفظ رطوبت داخل بافت کیک و جلوگیری از مهاجرت رطوبت و انتقال آن به رشته‌های نشاسته و کریستاله شدن آن‌ها می‌باشد (حاج‌احمدی و همکاران، ۱۳۹۳). این یافته‌ها با نتایج حاصل پژوهش دیگر محققین مطابقت داشت. Skendi و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که به‌کارگیری بتاگلوکان در فرمولاسیون خمیر منجر به کاهش سفتی بافت خواهد شد.

ارزیابی حسی

جدول ۳ نشان‌دهنده مقایسه نتایج استفاده از آرد بلوط و پودر کدو تنبل در فرمولاسیون کیک شکلاتی بدون گلوتن تأثیر آن‌ها روی خصوصیات حسی محصول نهایی می‌باشد. همان‌طور که نتایج نشان داد تمامی خصوصیات حسی به استثنای رنگ کیک شکلاتی فاقد گلوتن به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) تحت تأثیر سطوح استفاده از آرد بلوط و پودر کدو تنبل بود. بر این اساس مشخص شد که با استفاده از درصد‌های بالای آرد بلوط و پودر کدو تنبل به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) امتیاز حسی بافت و شکل ظاهر بهبود یافت، که احتمالاً در

همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است افزودن پودر کدو تنبل و آرد بلوط به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) موجب کاهش حجم مخصوص کیک خواهد شد. در واقع این اثر می‌تواند در ارتباط با ویسکوزیته خمیر باشد، زیرا ممکن است ویسکوزیته خمیر برای حفظ هوای موجود در ساختار، در طول مخلوط کردن و هوای تولید شده توسط بیکنگ پودر در طول فرآیند پخت مناسب باشد. بنابراین افزایش اندک ویسکوزیته (نسبت به میزان ویسکوزیته‌ای که توسط درصد‌های پایین فیبر ایجاد شده است) می‌تواند به حفظ گاز کمک کرده و حجم کیک را افزایش دهد. در مقابل افزایش بیش از حد ویسکوزیته خمیر ممکن است موجب کاهش حجم کیک شود (Staufer, 1990; Gómez et al., 2010). با بکارگیری آرد بلوط و پودر کدو تنبل به دلیل افزایش ویسکوزیته خمیر، ساختار فشرده فیبری حاصل خواهد شد (Demirkesen et al., 2010). این حالت به دلیل ساختار ویسکوزیته خمیر سبب می‌شود که گسترش و قابلیت حفظ گاز در محصول کاهش یافته و گازها قادر به ایجاد تورم در این خمیر نیستند (Collar et al., 2007) و در نتیجه حجم مخصوص کیک شکلاتی بدون گلوتن با افزایش سطح آرد بلوط و پودر کدو تنبل به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یابد. نتایج حاصل از این مطالعه با یافته‌های سایر محققین نیز مطابقت داشت. Paciulli و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که به‌کارگیری آرد بلوط در فرمولاسیون نان بدون گلوتن موجب کاهش حجم مخصوص نان می‌شود.

با توجه به شکل ۷ به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) در طی نگهداری سفتی نمونه‌های مختلف افزایش یافت که این میزان افزایش سفتی

ارتباط با قابلیت نگهداری آب در ساختار کیک و ایجاد بافت مطلوب توسط آن می‌باشد.

جدول ۳- ارزیابی خصوصیات حسی کیک شکلاتی فاقد گلوتن حاوی آرد بلوط و پودر کدو حلوائی

تیمار	بافت	رنگ	مزه	بو	شکل ظاهری	پذیرش کلی
شاهد	۲/۶۰±۰/۵۴ ^c	۳/۴۰±۰/۵۴ ^a	۳/۰۰±۰/۷۰ ^{cd}	۳/۶۰±۰/۵۴ ^{bc}	۲/۸۰±۰/۸۳ ^d	۱/۵۶±۰/۰۲ ^a
۱	۴/۰۰±۰/۷۰ ^{ab}	۳/۴۰±۰/۵۴ ^a	۴/۰۰±۰/۷۰ ^{ab}	۳/۲۰±۰/۴۴ ^c	۳/۴۰±۰/۵۴ ^{cd}	۱/۳۵±۰/۰۱ ^b
۲	۴/۴۰±۰/۵۴ ^{ab}	۳/۴۰±۰/۵۴ ^a	۴/۴۰±۰/۵۴ ^a	۴/۲۰±۰/۸۳ ^{ab}	۴/۰۰±۰/۷۰ ^{abc}	۱/۳۱±۰/۰۱ ^c
۳	۴/۶۰±۰/۵۴ ^a	۳/۸۰±۰/۸۳ ^a	۲/۶۰±۰/۵۴ ^d	۲/۴۰±۰/۵۴ ^d	۴/۶۰±۰/۵۴ ^a	۱/۲۸±۰/۰۱ ^d
۴	۲/۴۰±۰/۵۴ ^c	۳/۲۰±۰/۴۴ ^a	۳/۶۰±۰/۵۴ ^{abc}	۴/۴۰±۰/۵۴ ^a	۳/۴۰±۰/۵۴ ^{cd}	۱/۲۲±۰/۰۱ ^e
۵	۳/۶۰±۰/۵۴ ^b	۳/۲۰±۰/۴۴ ^a	۳/۲۰±۰/۴۴ ^{bcd}	۳/۴۰±۰/۵۴ ^c	۳/۶۰±۰/۵۴ ^{bcd}	۱/۱۸±۰/۰۱ ^f
۶	۴/۴۰±۰/۵۴ ^{ab}	۳/۴۰±۰/۵۴ ^a	۲/۶۰±۰/۸۹ ^d	۴/۲۰±۰/۴۴ ^d	۴/۲۰±۰/۸۹ ^{ab}	۱/۱۷±۰/۰۱ ^f

در هر ستون حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی دار بین تیمارها می‌باشد (P<0.05)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بررسی اثر افزودن آرد بلوط و پودر کدو تنبل در تولید کیک شکلاتی مشخص گردید افزایش آرد بلوط و پودر کدو تنبل با نسبت ۳۰٪ آرد بلوط و ۱۰٪ پودر کدو تنبل (تیمار T2) باعث بهبود خصوصیات تغذیه‌ای و ویژگی‌های حسی (به استثناء رنگ) در محصول شد؛ همچنین مدت زمان نگهداری محصول نهایی به شدت تحت تأثیر میزان مصرفی آرد بلوط و پودر کدو بود.

افزایش آرد بلوط و کدو تنبل سبب کاهش امتیاز بو گردید. از طرف دیگر استفاده از سطوح پایین آرد بلوط و پودر کدو تنبل باعث کسب امتیاز حسی بوی مطلوب از نظر ارزیاب‌های مختلف شد، اما با افزایش درصد استفاده از آرد بلوط و پودر کدو حلوائی به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) امتیاز حسی از لحاظ بو کاهش یافت. همچنین استفاده از سطوح پایین آرد بلوط و پودر کدو تنبل منجر به ایجاد خصوصیات طعمی بهتر در مقایسه با سایر تیمارها شد.

منابع

- داودی، ز. شاهدهی باغ خندان، م. کدیور، م. (۱۳۹۲). اثر پودر کدو تنبل بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر و خواص فیزیکی نان تافتون. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران.
- حاج‌احمدی، ا. کرامت، ج. حجت‌الاسلامی، م. مولوی، ه. (۱۳۹۳). بررسی اثر کتیرا بر خواص کیفی کیک اسفنجی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی شماره ۴۲، دوره یازدهم. ۸-۱.
- همتیان سورکی، ع. مظاهری تهرانی، م. محبی، م. (۱۳۹۲). تأثیر استفاده از آرد سویا و آرد بلوط بر ویژگیهای فیزیکوشیمیایی و ارگانولپتیکی کیک بدون گلوتن. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران.
- Abd El-Hady, A., Habiba, R.A. (2003). Effect of soaking and extrusion conditions on anti-nutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*, 36: 285-293.
- Akbari, M. R., Mohammadkhania, A., Fakheri, H., Zahedi, M. J., Shahbazkhani, B., Nouraie, M., Sotoudeh, M., Shakeri, R., Malekzadeh, R. (2006). Screening of the adult population in Iran for celiac disease: comparison of the tissue transglutaminase antibody and anti endomysial antibody tests. *European Journal of gastroenterology and Hepatology*, 18.
- Bent, A. J., Bennion, E. B., and Bamford, G. S. T. (2013). The technology of cake making. *Springer Science & Business Media*.
- Bhat, M. A., & Bhat, A. (2013). Study on physico-chemical characteristics of pumpkin blended cake. *Journal of Food Processing & Technology*, 2013.
- Caili, F. U., Huan, S., & Quanhong, L. I. (2006). A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. *Plant Foods for Human Nutrition*, 61(2), 70-77.
- Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 101(3), 329-336.
- Dutta, D., Dutta, A., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2006). Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 538-546.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten free cereal based. *Food Science and Technology*, 15: 143-152.

- Giuberti, G., Gallo, A., Cerioli, C., Fortunati, P., & Masoero, F. (2015). Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. *Food chemistry*, 175, 43-49.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., & Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1701-1709.
- Jenkins, D. J., Marchie, A., Augustin, L. S., Ros, E., & Kendall, C. W. (2004). Viscous dietary fibre and metabolic effects. *Clinical Nutrition Supplements*, 1(2), 39-49.
- Jiménez-Escrig, A., & Sánchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: Chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Research*, 20(4), 585-598.
- Kundu, H., Grewal, R. B., Goyal, A., Upadhyay, N., & Prakash, S. (2014). Effect of incorporation of pumpkin (*Cucurbita moshchata*) powder and guar gum on the rheological properties of wheat flour. *Journal of food science and technology*, 51(10), 2600-2607.
- Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., & Califano, A. (2015). Dynamic rheological analysis of gluten-free pasta as affected by composition and cooking time. *Journal of Food Engineering*, 160, 11-18.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). Sensory evaluation of food: principles and practices. *Springer Science & Business Media*.
- Lohi, S., Mustalahti, K., Kaukinen, K., Laurila, K., Collin, P., Rissanen, H., Mäki, M. (2007). Increasing prevalence of coeliac disease over time. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 26(9), 1217-1225.
- Majzoobi, M., Pashangeh, S., & Farahnaky, A. (2014). Effect of wheat bran of reduced phytic acid content on the quality of batter and sponge cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 987-995.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 729-736.
- Moore, M. M., Schober, T. J., Dockery, P., & Arendt, E. K. (2004). Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry*, 81(5), 567-575.
- Nozawa, M., Ito, S., & Arai, E. (2016). Effect of ovalbumin on the quality of gluten-free rice flour bread made with soymilk. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 598-605.
- Sabanis, D., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology*, 42(8), 1380-1389.
- Sacchetti, G., Pinnavaia, G. G., Guidolin, E., & Dalla Rosa, M. (2004). Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*, 37(5), 527-534.
- Skendi, A., Papageorgiou, M., & Biliaderis, C. G. (2009). Effect of barley β -glucan molecular size and level on wheat dough rheological properties. *Journal of Food Engineering*, 91(4), 594-601.
- Stauffer, C. E. (1990). Functional additives for bakery foods. *Springer Science & Business Media*.
- Ya-qin, W. H. W. X. (2004). Research progress in the functional factors of pumpkin [J]. *Food and Machinery*, 4, 022.



Effect of oat flour and pumpkin powder on nutritional value, staling and organoleptic properties of chocolate cake

S. Damirchi¹, M. Salehifar^{2*}

Received: 2017.01.27

Accepted: 2017.09.11

Introduction: Regarding the problem of celiac patient's intestinal intolerance to gluten-containing products, these people have to use gluten-free products, mostly with a variety of foreign and high prices ingredients that are not conform to Iranian tastes. The aim of this study was to evaluate the possibility of producing gluten-free chocolate cake with Acorn flour (30 and 40 percent) and powdered squash (5, 10 and 15 percent) Along with rice flour (100% Control sample, 45, 50, 55, 60, 65 percent with Acorn flour and pumpkin powder. Acorn flour may be used in gluten-free flour breads due to its nutritional and health benefits. Acorn flour contains high quality proteins with essential amino acids (4–7%), relatively high amount of sugar (20–32%), starch (50–60%), dietary fiber (4–10%), and low amount of fat (2–4%). It also contains vitamins E, and B, potassium, phosphorous, and magnesium. Pumpkins are extensively grown in tropical and subtropical countries. They are traditionally consumed as freshly boiled and steamed or as processed food items such as soup and curry. Pumpkin is high in carotene, which gives it yellow or orange color. It is also high in carbohydrates and minerals. Beta-carotene in plants that have a pleasant yellow-orange color is a major source of vitamin A.

Materials and Methods: In this study, the effect of Acorn flour and pumpkin powder on the nutritional properties of cakes (fiber, beta-carotene), moisture, water activity, stale, special volume, stiffness and sensory properties were tested. Increasing levels of employing Acorn flour and pumpkin powder in the formulation gluten-free chocolate cake directly increases water activity, including dietary fiber and beta-carotene content in chocolate cakes. It was also found that by increasing the percentage Acorn flour and pumpkin powder in the formulation gluten-free chocolate cake staling rate was decreased. Based on the results from sensory evaluation by trained evaluators, all sensory characteristics (texture, taste, smell and appearance) was significantly ($p < 0.05$) affected by different levels of Acorn flour and pumpkin powder.

Results and Discussion: Addition of pumpkin powder resulted in considerable increase of batter viscosity while the addition of Acorn flour had no significant effect on viscosity ($p > 0.05$). The higher viscosity was expected to have higher resistance to the applied shear during the mixing process leading to a lower amount of air being incorporated. Peak viscosity increased with increasing Acorn flour content. Acorn flour and pumpkin powder substitution, increased the fiber content of flours and increase the absorptive and maintenance capacity of water, as well as the dough viscosity of gluten-free chocolate cake. Addition of 30% Acorn flour and 10% pumpkin powder was found to increased batter viscosity, apparent density, cake moisture. The specific volume of cakes were decreased due to the inverse relationship between volume and apparent density. The effects of Acorn flour and pumpkin powder as a staling retarder was further due to increase in fiber content which results in moisture retention of cakes. Hardness of all samples including control, were significantly increased during storage ($p < 0.05$) which is indicative of staling during the storage period. The maximum firmness of samples was achieved in control and the minimum was seen in samples with high levels of Acorn flour and pumpkin powder. Substitution of Acorn flour and pumpkin powder into cakes, seems to reduce the rate of firming during storage. Acorn flour and pumpkin powder showed an anti- staling effect, retarding the cake firmness during storage. The main reason of staling in gluten free products is moisture migration from crumb to the crust which is due to the absence of gluten. Fibers are expected to increase water retention and loaf volume and to decrease firmness and starch retrogradation. The highly hydrophilic nature of fibers also helps to prevent the migration of water from the substrate to the coating, which improves shelf life of the product. According to the surveys and assessments carried out, in term of physico-chemical, treatments sensory of T2 (with 30% Acorn flour, and 10% pumpkin powder. And 60% Rice Flour) were proposed as a selected treatment.

Keywords: Acorn Flour, beta-carotene, chocolate cake, Gluten free, Pumpkin powder

1 and 2. MSc Student and Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(*Corresponding Author Email: salehifarmania@gmail.com)

مقاله پژوهشی

تجزیه و تحلیل متاژنومیکس جمعیت میکروبی در یک پنیر محلی ایرانی

نفیسه دعوتی^{۱*} - سحر بهرامی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

چکیده

در این مطالعه، یک پنیر محلی از شیر گاو براساس دستورالعمل محلی تهیه گردید. جمعیت میکروبی پنیر و توانایی عملکردی آن برای رسیدگی توسط توالیابی کامل متاژنوم بررسی گردید. پنیر سنتی به وسیله کشت آغازگر مزوفیلیک تولید شد. پنیر در دمای 10°C به مدت ۳ ماه دوره رسیدگی خود را طی کرد. نمونه‌ها از سطح پنیر جمع آوری گردید. بعد از خالص سازی کلنی‌ها، جدایه‌های گرم مثبت و کاتالاز منفی از لحاظ فنوتیپی در سطح جنس توسط تست‌های فیزیولوژی شامل قابلیت تولید گاز، رشد در pHهای مختلف (۹/۶ و ۴/۴)، تحمل نمک (۶/۵ و ۱۸ درصد) و دماهای مختلف (۱۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) شناسایی شدند. نتایج شناسایی فنوتیپی نشان داد که اکثر سویه‌های باکتری‌های اسید لاکتیک متعلق به *Lactococcus*، *Streptococcus*، *Lactobacillus* بودند. همچنین نتایج آنالیز متاژنومیکس نشان داد که جنس‌های متعددی شامل *Streptococcus*، *Lactococcus*، *Lactobacillus*، *Acinetobacter*، *Enterococcus*، *Glutamicibacter* و *Weissella* در پنیر وجود دارند. *Lactobacillus helveticus* و *Streptococcus thermophilus*، *Lactococcus lactis* به عنوان گونه‌های غالب شناسایی شدند. باکتری‌های بیماری‌زا نظیر *Enterobacter*، *Listeria* و *Staphylococcus* نیز به مقدار جزئی یافت شدند و بنابراین تقریباً نگرانی برای مصرف کنندگان و سلامت انسان وجود ندارد. میکروبیوم این پنیر، توانایی عملکردی برای سنتز رنج وسیعی از ترکیبات بو و مرتبط با توسعه طعم در این محصول را نشان داد که با متابولیسم و بیوسنتز متان، اسیدهای آمینه شاخه‌دار (ایزولوسین، والین، لوسین)، اسیدهای آمینه آروماتیک (تیروزین، تریپتوفان و فینیل آلانین)، سایر اسیدهای آمینه (آل-لیزین، بتا-آلانین)، اسیدهای چرب (آرآسیدونات، پالمیتات، استارات) و مونوساکاریدها در ارتباط بود. آنزیم‌های مرتبط با بیوسنتز و متابولیسم اسیدهای آمینه در طی رسیدگی این پنیر یافت شدند. این آنزیم‌ها شامل 4-hydroxy-tetrahydronicotinamide reductase، 2-isopropylmalate synthase، 3-dehydroquinone dehydratase، 3-hydroxyisobutyryl-CoA hydrolase، 5-carboxymethyl-2-hydroxymuconate delta-isomerase، 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase، hydroxymuconate delta-isomerase بودند. براساس نتایج KAAS (سرور حاشیه نویسی اتوماتیک KEGG)، پروتئین‌های درگیر در مسیرهای متابولیکی جامعه میکروبی روی سطح پنیر سنتی شامل موارد زیر بودند: Cytochrome P450 Photosynthesis، Proteins, Peptidases & Inhibitors، Glycosyltransferases، Lipopolysaccharide Biosynthesis Proteins، Peptidoglycan Biosynthesis and Degradation Proteins، Lipid Biosynthesis Proteins، Protein Kinases، Polyketide Biosynthesis Proteins، Prenyltransferases، Protein Phosphatases & Associated Proteins، and Amino Acid Related Enzymes. پنیر تحت مطالعه به عنوان یک غذای عملکردی، فواید سلامتی برای مصرف کنندگان به واسطه حضور باکتری‌های پروبیوتیک و ژن‌های مرتبط با بیوسنتز ترکیبات با ارزش شامل آنتی‌بیوتیک‌ها، داروها و آنتی‌اکسیدان‌ها را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: پنیر، متاژنومیکس، طعم، باکتری اسید لاکتیک.

مقدمه

یک بخش ویژه را گویند. توسعه طعم پنیر یکی از فرایندهای بیوشیمیایی پیچیده و دینامیکی است که شرایط محیطی نظیر دمای پخت (بسته به نوع فرایند)، زمان و دمای رسیدگی روی ترکیب میکروبی و فعالیت متابولیکی آن موثر است (Ben Lawlor et al., 2003). طعم پنیر تاثیر مهمی روی مقبولیت محصول و رضایت مصرف کننده دارد (Liggett et al., 2008). بنابراین توسعه طعم مطلوب برای صنعت پنیرسازی

رسیدگی پنیر جهت بهبود طعم و بافت شامل یک سری تغییرات پیچیده میکروبی و بیوشیمیایی است و میکروبیوم پنیر، یکی از فاکتورهای مهم در رسیدگی پنیر و تشکیل طعم است. میکروبیوم به معنای زیست‌بوم میکروارگانیسم‌ها نظیر میکروبیوم دستگاه گوارش انسان است و همه ژن‌ها و توده سلولی میکروارگانیسم‌های مستقر در

۱- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

(*) - نویسنده مسئول: (Email: n.davati@basu.ac.ir)

مهم است و مطالعات متعددی برای درک بهتر تشکیل طعم پنیرهای مختلف انجام شده است (Murtaza et al., 2014; Smit et al., 2005). کشت‌های آغازگراصولا مسئول تولید سریع اسید به واسطه تخمیر قند موجود در پنیر، تولید پپتیدها و اسیدهای آمینه آزاد از کازئین و در نتیجه توسعه طعم نهایی پنیر می‌باشند. به عنوان مثال توازن بین اسیدهای آمینه، پپتیدها، اسیدهای چرب آزاد و گروه‌های کربونیل ویژگی طعم شبه آجیلی و شیرین برای پنیرهای سوئیسی فراهم می‌کند (Johnson, 2014). بسته به نوع پنیر، تغییرات بیوشیمیایی گسترده منجر به تغییرات بافت، ایجاد عطر و طعم در طی رسیدگی پنیر رخ می‌دهد. عمدتاً این تغییرات به سه گروه پروتئولیز و کاتابولیسم اسیدهای آمینه؛ لیپولیز و متابولیسم اسیدهای چرب، گلیکولیز و متابولیسم لاکتوز، لاکتات و سیتрат تقسیم می‌شوند (McSweeney et al., 2006). ترکیبات عطر و طعم موجود در پنیر ناشی از واکنش‌های غیرآنزیمی، عملکرد آنزیمی باکتری‌های آغازگر (منبع اصلی آنزیم‌های موجود در مسیرهای متابولیکی)، غیرآغازگر، رنت و آنزیم‌های ذاتی شیر حاصل می‌شود (Smit et al., 2005). بدیهی است که عامل اصلی تخمیر لاکتوز، باکتری‌های اسید لاکتیک هستند و این باکتری‌ها قادرند بخشی از پروتئولیز شده به عنوان یک ترکیب حد واسطه واکنش‌های متابولیکی را متناوباً به ترکیبات مختلف طعم دهنده مانند دی‌استیل، استون، استالندید یا اسید استیک تبدیل کنند. لیپولیز منجر به تشکیل اسیدهای چرب آزاد می‌شود که می‌تواند پیش‌ساز ترکیبات طعم‌دهنده مانند متیل کتون‌ها، الکل‌های ثانویه، استرها و لاکتون‌ها باشد. طعم حاصل از چربی در پنیرهایی مانند کاممبرت^۱ و راکوفورتی^۲ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تجزیه کازئین‌ها بدون شک مهمترین مسیر بیوشیمیایی برای تشکیل عطر و طعم در پنیرهای نیمه سخت و سخت است. تجزیه کازئین با فعالیت آنزیم‌های رنت، پپتیداز و پروتئیناز موجود در پوشش سلولی باکتری‌های اسید لاکتیک موجب ایجاد پپتیدهای کوچک و اسیدهای آمینه آزاد می‌شود (Smit et al., 2005). بافت، حاصل خواص فیزیکی از جمله اندازه، شکل، تعداد، ماهیت و ترکیب عناصر سازنده است که با ترکیبی از خواص لامسه، بینایی و شنوایی درک می‌شود. خواص فیزیکی پنیر تحت تاثیر عواملی از جمله ترکیبات شیر، روش تولید و شرایط رسیدگی (زمان، دما و رطوبت نسبی) قرار دارد. به طور کلی می‌توان گفت بافت پنیر در طی رسیدن از تغییر در تعادل کلسیم موجود در پنیر، هیدرولیز ماتریس کازئین، تغییر در pH و آب اتصالی حاصل می‌شود (McSweeney et al., 2006).

آغاز فرایند تخمیر پنیر با کشت آغازگر انجام می‌شود. آغازگرهای مزوفیلیک و ترموفیلیک در دمای بهینه رشد خود به ترتیب حدود ۳۰ و ۴۵ درجه سانتی گراد رشد می‌کنند. حضور کشت آغازگر برای شکل‌گیری طعم در پنیرهای حاصل از شیر خام به تنهایی کافی نیست و میکروفلور ذاتی ماده اولیه نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. هر محصول تخمیری بومی مختص هر منطقه دارای فلور میکروبی ذاتی است که مسئول ایجاد ویژگی‌های منحصر به فرد آن محصول از نظر طعم، آروما، بافت، رنگ و غیره می‌باشد. مثلاً نتایج حاصل از پژوهش‌ها نشان داده است که لاکتوکوکوس‌های وحشی جدا شده از محصولات لبنی و غیرلبنی، طعم‌های خاص از آنچه که در سوبه‌های صنعتی شناخته شده است تولید می‌کنند (Lordan et al., 2019).

بنابراین جهت کنترل و مدیریت تولید صنعتی محصولات سنتی تخمیری نظیر پنیر بایستی شناخت کامل از فلور میکروبی و فرایندهای بیوشیمیایی پیچیده منجر به تولید خواص حسی منحصر به فرد آن داشته باشیم. شناسایی فلور میکروبی عمدتاً پیچیده محصولات تخمیری بومی به روش‌های تشخیص فنوتیپی و مولکولی مستقل از کشت و یا وابسته به کشت انجام می‌شود. که در این میان روش‌های مولکولی در تکمیل روش‌های فنوتیپی از دقت بیشتری برخوردارند. در روش‌های تشخیص مبتنی بر کشت به دلیل آنکه بخشی از فلور میکروبی قابلیت کشت بر روی محیط جامد را نداشته و کلنی مشخصی از آن برای استحصال DNA وجود ندارد بهتر است از روش‌های مستقل از کشت نظیر DGGE و متانژنومیکس^۳ بهره برد. در مطالعات میکروبی، متانژنومیکس علم مطالعه محتوای ژنتیکی بر روی DNA مستقیماً استخراج شده از نمونه‌های محیطی و نه از کلنی میکروارگانیسم‌های کشت یافته است. این رشته گسترده ممکن است ژنومیکس محیطی، اکونومیست یا ژنومیکس اجتماع نامیده شود. با این روش، هرگونه نمونه محیطی از اعماق اقیانوس گرفته تا لایه‌های اتمسفر می‌تواند مورد مطالعه مولکولی قرار گیرد. به واسطه توسعه تکنیک‌های نسل جدید توالی‌یابی^۴ (NGS) کاربرد روش‌های متانژنومیکس و متاترانسکریپتومیکس^۵ در تحقیقات مرتبط با مواد غذایی پیشرفت بسیار چشمگیری داشته است (Kergourlay et al., 2015). متانژنومیکس کامل ژنوم^۶ به عنوان ابزاری مفید در تشخیص تغییرات دینامیکی جمعیت میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی پنیر بسیار سودمند عمل کرده است. اخیراً مطالعات متعدد انجام شده روی تجزیه و تحلیل متانژنومیکس پنیرهای ایتالیایی، مکزیکی، فرانسوی و بلژیکی اطلاعات

1 Camembert

2 Roqueforti

3 Metagenomic

4 Next-generation sequencing

5 Metatranscriptomic

6 Whole genome metagenomics

آب، دلمه‌ها را درون پارچه ریخته و دوباره دلمه‌ها را به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد استراحت دادیم و سپس در پارچه‌ای ریخته تا آب‌گیری شود. دلمه آبگیری شده روی تخته‌ای برش داده شد. و با نمک خوب مخلوط گردید. سپس پارچه حاوی لخته‌های برش داده شده در ظرفی قرار داده شد و یک جسم سنگین حدود ۱۰ کیلوگرمی به مدت یک ساعت بر روی درب ظرف قرار دادیم تا پنیر منسجم شود. در مرحله بعد پنیر را داخل ظرف قالبی شکل، پشت و رو کرده و یک بار دیگر به مدت ۱۲ ساعت، جسم ۲۰ کیلوگرمی بر روی درب ظرف قرار داده شد. بعد پنیر را از داخل پارچه پنیرگیری برداشته و به مدت ۲ تا ۳ روز در جای خشک نگه داشته شد. در مرحله آخر دور تا دور آن آغشته به روغن نارگیل گردید و پارچه توری بر روی آن کشیده شد و به مدت ۳ ماه در دمای حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا پنیر دوره رسیدگی خود را طی کند. و هفته‌ای یک‌بار پنیر پشت و رو گردید.

جداسازی باکتری‌های دخیل در فرایند رسیدگی پنیر

در پایان فرایند رسیدگی، ۱۰۰ گرم نمونه از سطوح جانبی و نزدیک به بافت سطحی پنیر با اسپاتول تحت شرایط استریل برداشت گردید و توسط هاون و دسته هاون چینی استریل خرد گردید. رقیق‌سازی نمونه در رینگر تا رقت 10^{-10} انجام گردید و از رقت‌های مناسب در محیط‌های MRS و M17 آگار (مرک، آلمان) کشت داده شد. کلیه پلیت‌های کشت یافته در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در جار بی‌هوازی حاوی گازیک نوع A گرمخانه‌گذاری شدند. کلنی‌های متمایز برداشت شده و توسط کشت خطی خالص سازی گردیدند. سپس جهت بررسی جنس‌های مشکوک به باکتری‌های اسید لاکتیک، جدایه‌های باکتریایی حاصل از MRS و M17 که کاتالاز منفی و گرم مثبت بودند انتخاب شدند (Harrigan, 1998).

شناسایی فنوتیپی جدایه‌ها در سطح جنس

جهت تشخیص جدایه‌ها تا سطح جنس توسط آزمون‌های بیوشیمیایی شامل بررسی توانایی رشد در دو دمای ۱۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد، $pH = 4/4$ و $pH = 9/6$ ، کلرید سدیم با غلظت ۶/۵ و ۱۸ درصد و قابلیت تولید گاز دی‌اکسید کربن از محیط MRS براث اصلاح شده (Lahtinen et al., 2011) و جهت بررسی هیدرولیز آرژنین از محیط ردی براث^۱ استفاده گردید (Cardinal et al., 1997).

استخراج DNA و تهیه کتابخانه ژنومی

استخراج DNA از پنیر توسط کیت DNeasy®Blood & Tissue Kit براساس دستورالعمل شرکت سازنده (کیاژن، آلمان) انجام گردید. کتابخانه متاژنومی توسط کیت تهیه کتابخانه Nextera™

مفیدی از پراکنش زیستی و فعالیت‌های متابولیکی گونه‌های میکروبی این محصولات فراهم کرده است. به‌عنوان مثال Lordan و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای با کمک متاژنومیکس و MS-GC، فلور میکروبی دخیل در رسیدگی پنیر حاصل از شیر بز و ژن‌های مرتبط با تولید لیپیدهای قطبی با خاصیت کاهندگی لخته خون را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تخمیر بر ترکیب اسیدهای چرب موجود در لیپیدهای قطبی مؤثر است و موجب تقویت خواص ضد لختگی خون با مصرف این نوع پنیر می‌شود. با کمک متاژنومیکس می‌توان فلور میکروبی غالب و مسئول رسیدگی محصولات تخمیری را شناسایی کرد تا با جداسازی باکتری‌های مسئول رسیدگی از محصولات بومی، از آن‌ها بتوان در تولید صنعتی محصول استفاده کرده و از خواص تکنولوژیکی جدایه‌های میکروبی بهره برد. همچنین با شناخت مسیرهای بیوشیمیایی براساس محتوای ژنومی آن می‌توان شرایط تولید را به سمت ایجاد محصولی با کیفیت خاص تغییر داد و درک درستی از خواص دارویی، مدت ماندگاری براساس تولید ترکیبات ضد میکروبی و ارزش تغذیه‌ای آن پیدا کرد. در این مطالعه سعی بر آن است که با تجزیه و تحلیل متاژنومیکس ژنوم کامل فلور میکروبی موجود در لایه سطحی یک پنیر سنتی، جامعه میکروبی غالب مسئول تخمیر و همچنین پتانسیل محتوای ژنومی آن در تولید طعم، بو و ترکیبات ضد میکروبی و دارویی شناسایی شود.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های شیمیایی شیر گاو شامل pH با دستگاه pH متر، چربی (مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۳۶۶)، ماده خشک بدون چربی (مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۶۳۷)، میزان اسیدیته بر حسب اسید لاکتیک (مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۵۲) اندازه‌گیری گردید.

تهیه پنیر

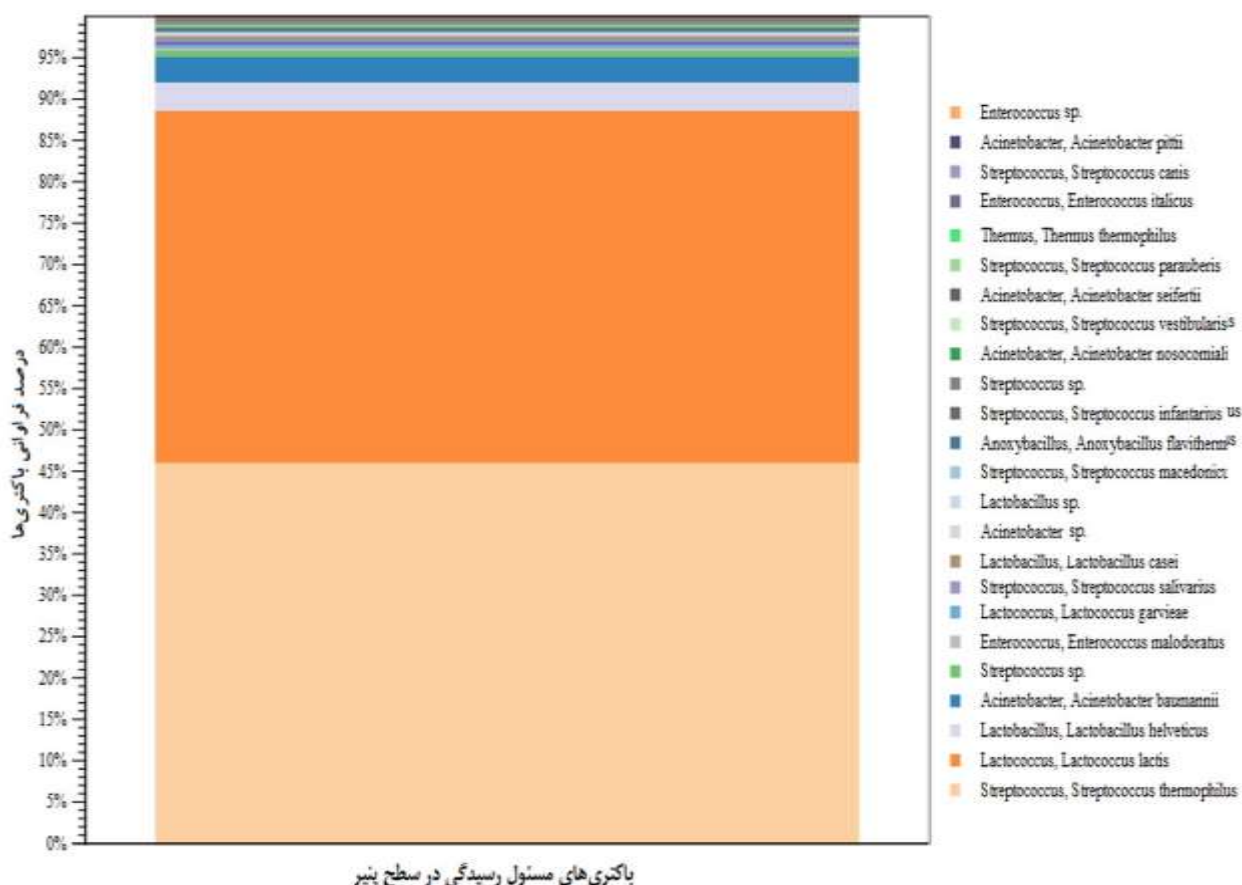
براساس یک دستورالعمل محلی در یکی از روستاهای غرب ایران، در ابتدا شیر تازه گاو تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد سرد گردید. سپس کشت آغازگر مزوفیلیک (CHR- Hansen CHN-22 culture- Denmark) به آن اضافه گردید و مخلوط شیر و آغازگر پس از هم زدن حدود ۴۰ دقیقه، در دمای پایین نگهداری شد. سپس با کفگیر روی دلمه‌ها را فشار داده تا سفت شدن بافت آن امتحان گردد. در صورت سفت شدن با چاقو دلمه‌ها برش داده شد و به مدت ۵ دقیقه دیگر به آن استراحت دادیم. بعد از هم‌زدن دلمه‌ها به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۴۰ دقیقه دیگر به آن استراحت دادیم تا دلمه‌ها ته‌نشین شوند. جهت خروج

DNA شرکت ایلومینا ساخته شد و براساس پلتفرم HiSeq® 2000 و خوانش‌های دو طرفه 2×100 bp توالی‌یابی گردید.

تجزیه و تحلیل آماری و متاژنومیکس داده‌ها

داده‌های خام از نظر تعیین ترکیب جامعه میکروبی توسط Taxonomic Profiling و پتانسیل عملکردی که در کل ژنوم جامعه میکروبی پنیرمزدگاری شده بود توسط De Novo Assemble Metagenome و متعاقب آن Bin Pangenomes by Sequence پروفایل تاکسونومیک و پتانسیل‌های متابولیک موجود در

جامعه میکروبی پنیر به صورت نمودار پای تهیه گردید. تمام تجزیه و تحلیل داده‌ها و تحلیل آماری توسط نرم‌افزار CLC genomics 2019 انجام گردید. مسیرهای متابولیکی در بیوستنز ترکیبات آلی توسط سایت KEGG (<https://www.genome.jp/kegg>) و سرور KAAS به‌دست آمد (<https://www.genome.jp/kegg/kaas>). اثر زمان تخمیر بر روی تعداد جنس‌های شناسایی شده به روش فنوتیپی در فواصل زمانی ۵ روز با نرم‌افزار SPSS version 16 و تجزیه و تحلیل واریانس یکطرفه با اندازه‌گیری‌های مکرر بررسی شد و معنی‌داری در سطح $p < 0.05$ بررسی گردید.



شکل ۱- جنس‌ها و گونه‌های باکتریایی مسئول رسیدگی سطحی پنیر شناسایی شده بر پایه NGS

نتایج و بحث

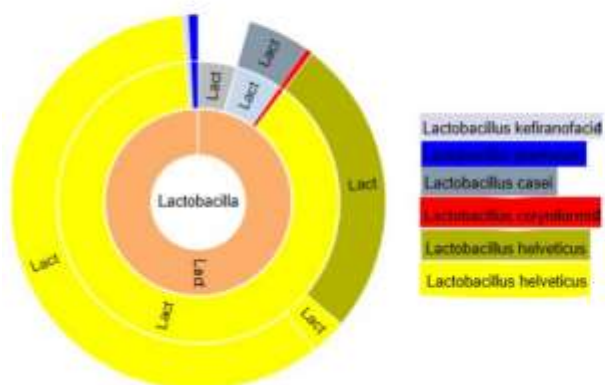
براساس نتایج اندازه‌گیری، ویژگی‌های شیمیایی شیر گاو شامل چربی ۳٪، ماده خشک بدون چربی شیر ۸/۵٪، میزان اسیدیته بر حسب اسید لاکتیک ۰/۱۵٪ و H شیر ۶/۷ بود. نتایج تجزیه و تحلیل آماری بر روی ۸۵ جدایه لاکتیکی شناسایی شده به روش فنوتیپی از سطح پنیر در فواصل زمانی ۵ روز نشان داد که تقریباً در تمام مراحل تخمیر جنس‌های شناسایی شده فلور غالب را تشکیل داده است و زمان تخمیر اثر معنی‌داری بر روی تعداد آن‌ها نداشت به‌طوریکه براساس این

شناسایی فنوتیپی در آخرین محله تخمیر جنس‌های Streptococcus ۵۵٪، Lactococcus ۴۰٪ و Lactobacillus ۲٪ فلور غالب جامعه باکتریایی این بخش سطحی را تشکیل دادند. همچنین نتایج تشخیص مولکولی براساس نسل جدید توالی‌یابی جنس‌های غالب در سطح پنیر را به شرح زیر نشان داد. Streptococcus ۴۸/۲۴٪، Lactococcus ۴۳٪، Lactobacillus ۳/۴۷٪، Enterococcus ۰/۵٪ و leuconostoc ۰/۰۲٪.

Lactobacillus coryniformis, *Lactobacillus kefiranofaciens*, *Streptococcus suis*, *Weissella paramesenteroides*, *Streptococcus mitis*.

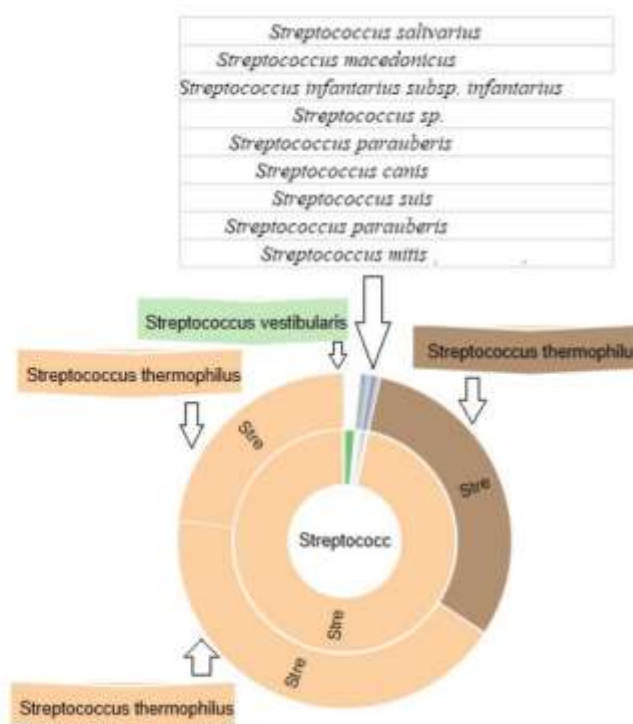
برای نمایش بهتر نتایج به دلیل تنوع زیاد گونه‌های باکتریایی متعلق به دو جنس *Streptococcus* و *Lactobacillus* این گونه‌ها در شکل ۲ به صورت نمودار پای نشان داده می‌شوند.

از آنجایی که طرز تهیه این پنیر سنتی مشابه چدار است نتایج آن را با مطالعات مشابه انجام شده بر روی پنیر چدار مقایسه می‌کنیم. Fitzsimons و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعه‌ای که بر روی شناسایی فنوتیپی و ژنوتیپی وابسته به کشت باکتری‌های اسید لاکتیک غیر آغازگر^۱ در طی رسیدگی پنیر چدار داشتند موفق شدند باکتری‌های زیر را شناسایی کنند. *L. plantarum* ۲/۱٪، *L. plantarum* ۹۶/۴٪، *Lactobacillus paracasei* ۰/۳٪ و *Lactobacillus brevis* ۰/۳٪.



بنابراین نتایج تشخیص مولکولی و فنوتیپی هر دو نشان دادند که *Streptococcus* و *Lactococcus* به ترتیب دو جنس غالب در رسیدگی در سطح پنیر هستند. همچنین نتایج تشخیص مولکولی براساس NGS (شکل ۱ و ۲) نشان داد که باکتری‌های شرکت کننده در رسیدگی سطحی پنیر شامل گونه‌های زیر بودند:

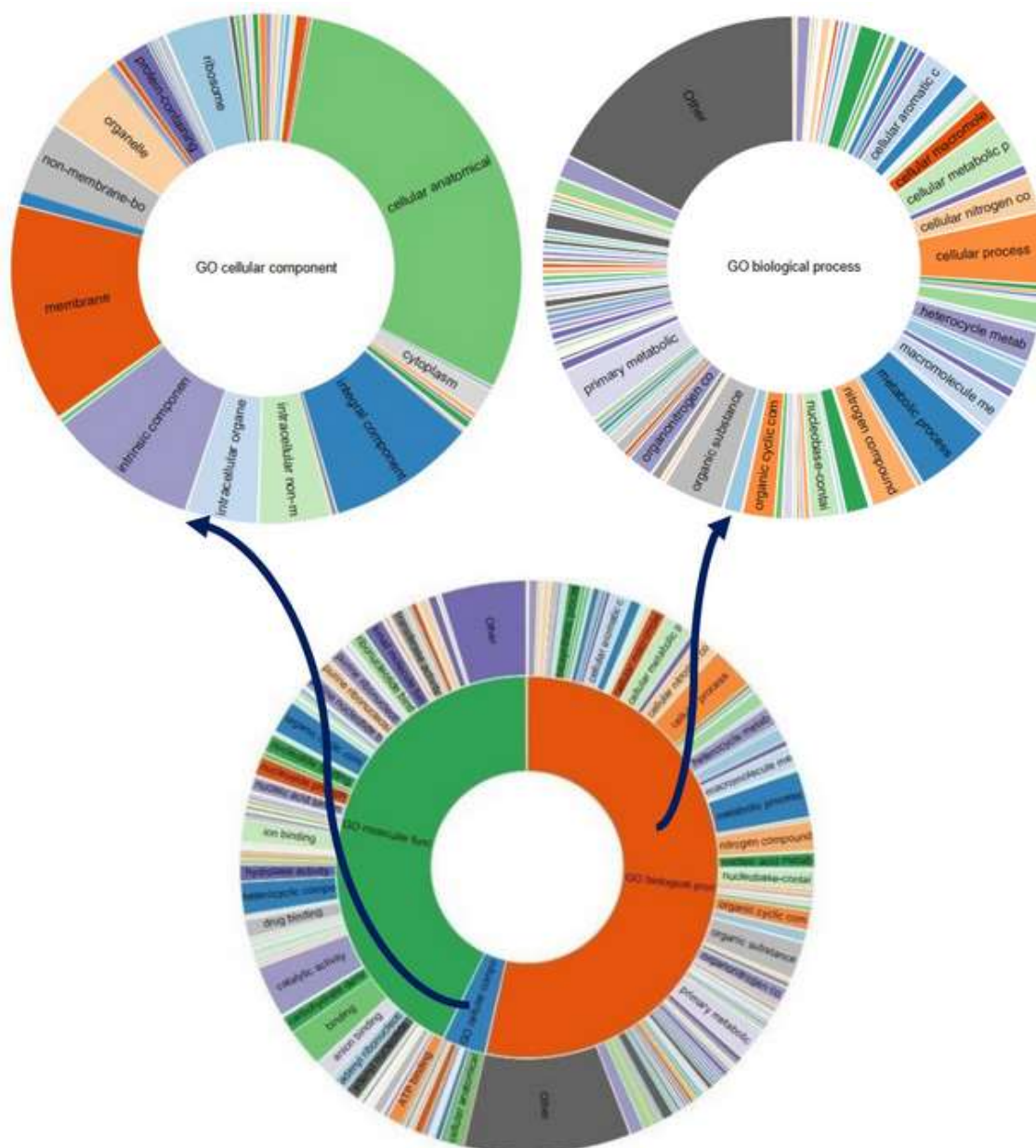
Streptococcus thermophilus, *L. lactis*, *Lactobacillus helveticus*, *Acinetobacter baumannii*, *Enterococcus malodoratus*, *Lactococcus garvieae*, *Streptococcus salivarius*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus macedonicus*, *Anoxybacillus flavithermus*, *Streptococcus infantarius*, *Acinetobacter nosocomialis*, *Streptococcus vestibularis*, *Acinetobacter seifertii*, *Streptococcus parauberis*, *Thermus thermophilus*, *Enterococcus italicus*, *Streptococcus canis*, *Acinetobacter pittii*, *Glutamicibacter arilaitensis*, *Geobacillus stearothermophilus*, *Enterococcus faecalis*, *Lactobacillus plantarum*, *Acinetobacter lwoffii*,



شکل ۲- گونه‌های استرپتوکوکسی و لاکتوباسیلوسی غالب در رسیدگی پنیر

در طی شناسایی فلور میکروبی غیر آغازگر و بررسی تاثیر آن بر کیفیت پنیر چدار نشان دادند که در بین ۷۵ جدایه باکتری، *Lactobacillus* ۶۴٪، *S. thermophilus* ۳۲٪ و *Lactococcus* ۴٪ فلور میکروبی غالب را تشکیل می‌دهند. آن‌ها یافتند که فلور میکروبی غیر آغازگر نقش مهمی در توسعه طعم ایفاء می‌کند.

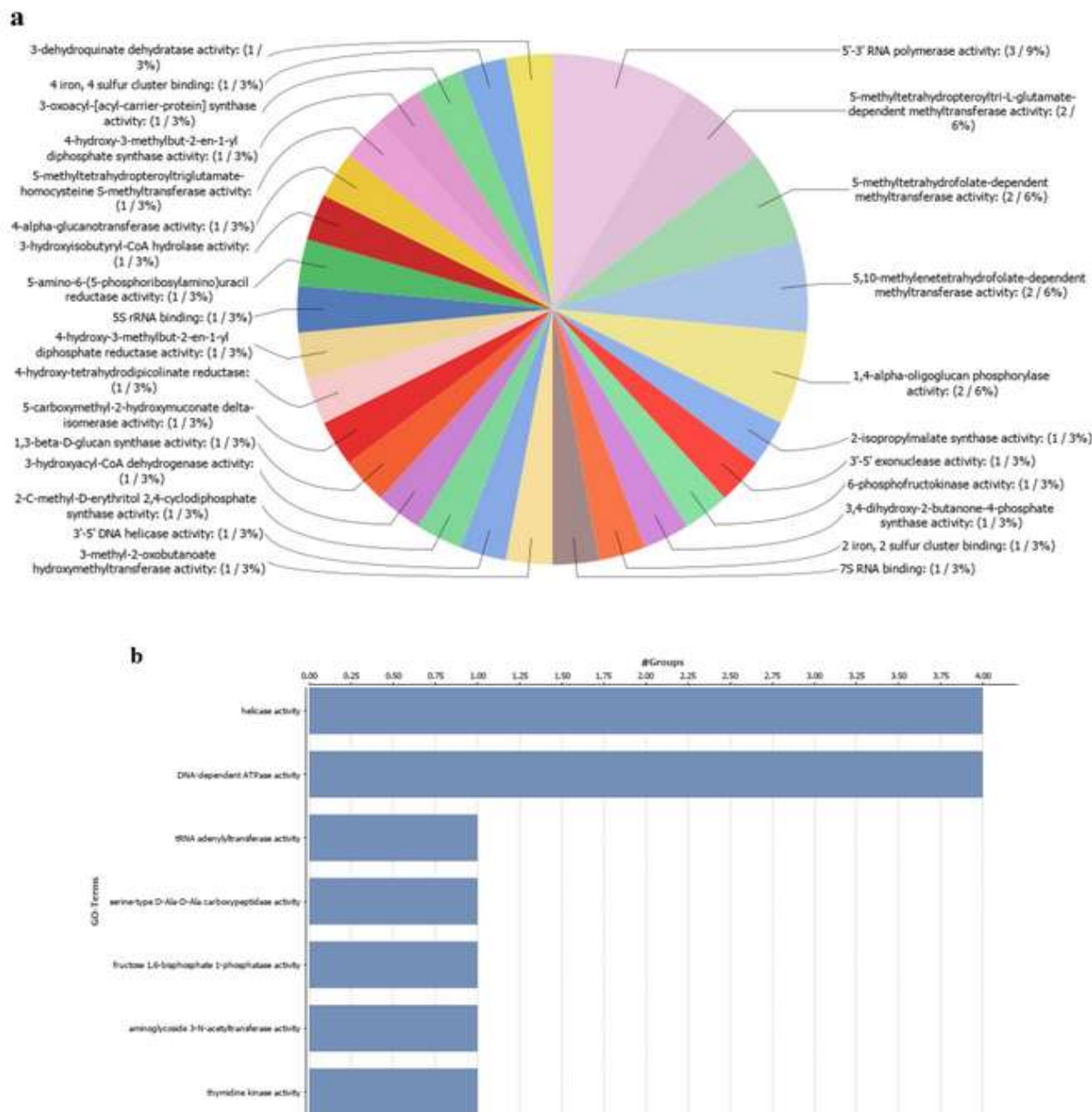
Broadbent و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی فلور میکروبی پنیر چدار حاصل از درصدهای چربی مختلف که با کشت آغازگر *L. lactis* تهیه شده بود را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که فلور میکروبی تام پنیر مرتبط با تغییر میزان چربی پنیر تغییر می‌کند اما فلور میکروبی غالب مستقل بوده و تغییر نمی‌کند. Swearingen و همکاران (۲۰۰۱)



شکل ۳- نگاشت GO ID های حاصل از تجزیه و تحلیل متازنوم داده‌ها: ترکیبات سلولی، عملکرد مولکولی و فرایند بیولوژیکی

نظیر اسیدهای آلی، آب اکسیژنه، دی اکسیدکربن، استالدئید، استوئین، الکل‌ها و باکتریوسین‌ها و همچنین pH پایین رشد این باکتری‌های پاتوژن محدود شده و هیچگونه خطری برای مصرف کننده نخواهد داشت. همچنین باکتری‌های پروبیوتیک نظیر *L. plantarum*, *L. L. helveticus*, *L. lactis*, *S. thermophilus*, *kefirano-faciens*, و *L. casei* که قبلاً تأثیرات مثبت آن در سلامت بدن ثابت شده است نیز در این پنیر شناسایی گردید که نشان‌دهنده ارزش تغذیه‌ای و خواص سلامتی بخش این محصول به عنوان یک محصول پروبیوتیک است.

Ganesan و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که جمعیت لاکتوکوکی و لاکتوباسیلوسی غیرآغازگری و همچنین بیفیدوباکتری-هایی که دستی به پنیر چدار افزوده شده بود در سرتاسر فرایند تولید پنیر و فرایند رسیدگی بقاء دارند و افزودن پروبیوتیک‌ها در سطوح پایین-تر بقاء باکتری‌های آغازگر و غیرآغازگر را تحت تأثیر می‌دهد. براساس نتایج متازنومیکس جنس‌های *Staphylococcus*, *listeria* و خانواده *Enterococcaceae* در این پنیر سنتی وجود دارد که نشان‌دهنده انتقال آلودگی در طی تولید و رسیدگی پنیر بوده است اما از آنجاییکه فلور میکروبی لاکتیکی غالب بوده است به دلیل تولید ترکیبات ضد میکروبی



شکل ۴- بیشترین پتانسیل عملکردهای آنزیمی در سطوح دو (a) و نه (b) موجود در محتوای ژنومی جامعه میکروبی مسئول رسیدگی پنیر

صرف فرایندهای بیولوژیکی و واکنشهای مولکولی شده است. از آنجایی که غالباً عملکردهای مولکولی به فعالیتهای آنزیمی می‌پردازد که از دیدگاه میکروبی در رسیدگی پنیر، تغییرات بافت، طعم و مزه اهمیت دارد در اینجا به آنزیمهای حاصل از محتوای ژنومی این جامعه میکروبی می‌پردازیم (شکل ۴).

براساس تجزیه و تحلیل متاژنوم داده‌ها، نگاشت^۱ کدهای حاصل از هستی شناسی^۲ GO ID مسیرهای بیولوژیکی را به سه گروه شامل ترکیبات سلولی، عملکرد مولکولی و فرایند بیولوژیکی تقسیم می‌کند که در شکل ۳ مشاهده می‌شود. براساس نقشه ژنومیک حاصل متوجه می‌شویم بیشتر محتویات ژنومی جامعه میکروبی درگیر در رسیدگی پنیر

1 Mapping

2 Gene Ontology ID

کینازها، فسفاتاز، پپتیدازها، گلیکوزیل ترانسفرازها، فنیل ترانسفرازها، آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم اسیدهای آمینه و پروتئین‌های مرتبط با بیوسنتز لیپولی ساکاریدها، چربی‌ها، پلی‌کتیدها و همچنین بیوسنتز تجزیه پپتید و گلیکان‌ها می‌باشد. در جدول ۱ محتوای ژنومی مسئول بیان آنزیمی، مسیرها و متابولیت‌های حاصل از واکنش‌های آنزیمی در رسیدگی سطحی پنیر مشخص شده است.

مطابق شکل ۴ (a و b) بخش بزرگی از عملکرد مولکولی فلور میکروبی پنیر مورد مطالعه به موارد زیر اختصاص دارد که مرتبط به رونویسی از ژن‌ها، مصرف انرژی طی فرایند باز شدن رشته‌های RNA و DNA جهت رونویسی و نسخه‌برداری، فسفوریلاسیون کربوهیدرات‌ها و انتقال گروه متیل بین ترکیبات شیمیایی است. همچنین براساس نتایج تجزیه و تحلیل سرور KAAS پروتئین‌های شناخته شده مرتبط با متابولیسم در پنیر سنتی مورد مطالعه ما شامل

جدول ۱- محتوای آنزیمی، مسیرها و متابولیت‌های حاصل از واکنش‌های آنزیمی در رسیدگی لایه سطحی پنیر

مسیر متابولیکی	EC	آنزیم
Transfere	EC 2.4.1.34	1,3-β-D-glucan synthase
	EC 2.3.3.13	2-isopropylmalate synthase
	EC 2.1.2.11	3-methyl-2-oxobutanoate hydroxymethyltransferase
	EC 2.3.1.41	3-oxoacyl-[acyl-carrier-protein] synthase
	EC 2.4.1.25	4-alpha-glucanotransferase
	EC 2.7.1.11	6-phosphofructokinase
	EC 2.3.1.81	aminoglycoside 3-N-acetyltransferase
Lyases	EC 2.7.1.21	thymidine kinase
	EC 4.6.1.12	2-C-methyl-D-erythritol cyclodiphosphate synthase
	EC 4.1.99.12	3,4-dihydroxy-2-butanone-4-phosphate synthase
	EC 4.2.1.10	3-dehydroquinone dehydratase
Hydrolases	EC 3.6.4.12	3'-5' DNA helicase
	EC 3.1.2.4	3-hydroxyisobutyryl-CoA hydrolase
	EC 3.1.3.11	fructose 1,6-bisphosphate 1-phosphatase
	EC 3.4.16.4	serine-type D-Ala-D-Ala carboxypeptidase
Oxidoreductases	EC 1.1.1.35	3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase
	EC 1.17.7.4	4-hydroxy-3-methylbut-2-en-1-yl diphosphate reductase
	EC 1.17.1.8	4-hydroxy-tetrahydrodipicolinate reductase
	EC 1.1.1.193	5-amino-6-(5-phosphoribosylamino) uracil reductase
Isomerases	EC 5.3.3.10	5-carboxymethyl-2-hydroxymuconate delta-isomerase

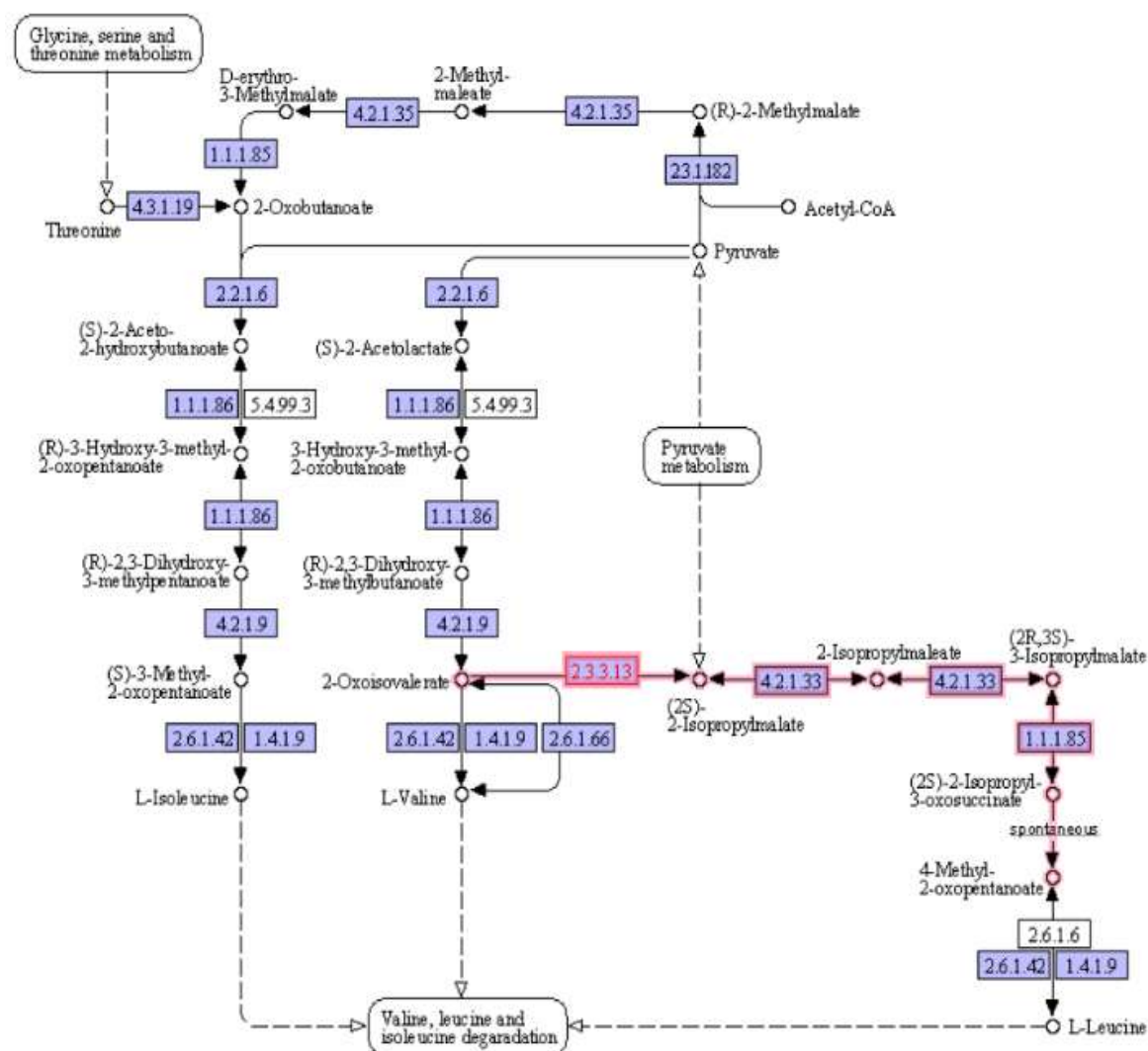
از آن جمله می‌توان به آنزیم‌هایی شرکت کننده در متابولیسم و بیوسنتز اسیدهای آمینه به شرح زیر اشاره کرد. 4-hydroxy-

بر اساس این جدول واکنش‌های آنزیمی زیادی که در لیپولیز و پروتئولیز موثر در تشکیل طعم و آروما نقش دارند شناسایی شده است.

می‌شوند که این اسیدها واسطه‌های مرکزی هستند و می‌توانند به اسیدهای هیدروکسی، آلدئیدها و CoA-استرها تبدیل شوند. این واکنش‌ها بیشتر آنزیمی هستند، اما برخی از مراحل توسط واکنش‌های شیمیایی نظیر تشکیل بنزآلدئید از اسید فینیل پیرویک نیز اتفاق می‌افتد. در مطالعه ما محتوای ژنومی مسئول بیان آنزیم 2-isopropylmalate synthase (EC 2.3.3.13) از دسته ترانسفرازها که در بیوسنتز اسیدهای آمینه شاخه‌دار والین، لوسین و ایزولوسین مطابق شکل ۵ نقش دارد شناسایی شد.

tetrahydrodipicolinate reductase, 2-isopropylmalate synthase, 3-dehydroquinate dehydratase, 3-hydroxyisobutyryl-CoA hydrolase, 5-carboxymethyl-2-hydroxymuconate delta-isomerase, 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase

L. lactis به‌عنوان یکی از باکتری‌های مهم در رسیدگی پنیر مورد مطالعه ما، قادر به تولید تمام اسیدهای آمینه نبوده ولی قادر به جذب اسیدهای آمینه ضروری کوچک از محیط می‌باشد. بیشتر اسیدهای آمینه در ابتدا توسط ترانس آمینازها به اسیدهای آلفا-کتو مربوطه تبدیل



شکل ۵- نقش آنزیم 2-isopropylmalate synthase; EC 2.3.3.13 در بیوسنتز لوسین، ایزولوسین و والین برگرفته از KAAS

می‌تواند به افزایش پتانسیل اکسیداسیون و احیاء NADH کمک کند (Smit et al., 2005). تبدیل اسیدهای آمینه به الکل از طریق اسیدهای آلفا-کتو در ابتدا برای تشکیل الکل‌های فوزل^۱ (الکل‌های

یکی از مسیرهای بیولوژیکی تجزیه کننده اسیدهای آمینه، تولید پیش‌سازهایی است که می‌تواند در سنتز برخی مواد نظیر اسیدهای چرب استرول و زنجیره‌دار استفاده شود. همچنین هیدروژنه شدن آلفا-کتو

1 Fusel alcohols

زنجیره کوتاه منشعب) در مخمر شناخته شد که به آن مسیر اریچ گفته می‌شود. یکی دیگر از مسیرهای مهم تبدیل اسیدهای آمینه توسط لیازها مانند سیستاتینونین b-Lyase انجام می‌شود که قادر به تبدیل متیونین به متانیتول است. ترئونین آلدولاز (EC 4.1.2.5) متعلق به طبقه دیگری از لیازها است که قادر به تبدیل مستقیم ترئونین به استالدئید می‌باشد. سومین مسیر تبدیل اسیدهای آمینه، دکربوکسیلاسیون آن‌ها به آمین‌هاست که این واکنش، با توجه به ضرر آمین‌های بی‌وژن برای سلامت انسان مورد اهمیت است (Marilley and Casey, 2004; Smit et al., 2005). در مطالعه حاضر نیز محتوای ژنومی مسئول بیان آنزیم 3-dehydroquinase (EC 4.2.1.10) از گروه لیازها که در سنتز اسیدهای آمینه آروماتیک تربیتوفان، فنیل آلانین و تیروزین مهم است مطابق شکل ۶ شناسایی شده است.

در سلول‌های میکروبی جذب پپتید از طریق سیستم‌های حمل و نقل الیگوپپتید (سیستم OPP) و دی/تری پپتید اتفاق می‌افتد. پس از جذب، پپتیدها به واسطه انواع پپتیدازهای درون سلولی تجزیه می‌شوند. پپتیدازهای شناخته شده در باکتری‌های اسید لاکتیک را می‌توان به آندوپپتیدازها، آمینوپپتیدازها، دی/تری پپتیدازها و پپتیدازهای خاص پرولین تقسیم‌بندی کرد. اگرچه پپتیدها و اسیدهای آمینه حاصل می‌توانند باعث طعم شیرین، تلخ و یا شور در محصول شوند، اما به‌طور کلی آن‌ها فقط به تشدید طعم اصلی پنی‌ر کمک می‌کنند. با این حال، پروتولیز نامتوازن ممکن است به تولید بیش از حد پپتیدهای تلخ منجر شود که می‌تواند باعث کاهش مقبولیت خواص حسی نظیر عطر و طعم در پنیر شود (Marilley and Casey, 2004; Smit et al., 2005).

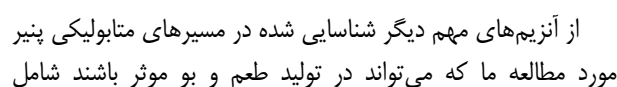
از جمله پپتیدازهای شناخته شده در مطالعه ما serine-type D-Ala-D-Ala carboxypeptidase (EC 3.4.16.4) و 3-hydroxyisobutyryl-CoA hydrolase (EC 3.1.2.4) است که در متابولیسم اسیدهای آمینه نقش دارند. متیونال، ۳-متیل بوتان، اسید ایزووالریک و بنزالدئید نمونه‌هایی از ترکیبات اصلی طعم‌دهنده هستند که توسط ترانس آمینازها (آمینوترانسفرازها) تولید می‌شوند. این نوع آنزیم به‌طور گسترده در بین میکروارگانیسم‌ها توزیع شده و از پیریدوکسال-۵-فسفات به‌عنوان کوفاکتور برای کاتالیز استفاده می‌کند. در اولین مرحله از کاتابولیسم اسیدهای آمینه، ترانس آمینازها تبدیل اسید آمینه به اسید آلفا-کتو مربوطه را کاتالیز می‌کنند. برای تبدیل انواع مختلفی از اسیدهای آمینه مانند نوع زنجیره‌ای منشعب BCAA و نوع آروماتیک ArAA، ترانس آمینازهای خاصی شناسایی شده‌اند (Marilley and Casey, 2004; Smit et al., 2005).

Marilley و Casey (۲۰۰۴)، نقش احتمالی کاتابولیسم اسیدهای آمینه را در تولید ترکیبات عطر و طعم توسط تکنیک‌های مختلف نظیر شناسایی ژنوتیپ، تجزیه و تحلیل آنزیمی، فیزیکی و شیمیایی (GC, TLC, HPLC و بینی الکترونیکی) مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش، نقش اسیدهای آمینه و اسیدهای کتو در تولید ترکیبات عطر و طعم را تأیید کرد. استرها حاصل واکنش بین الکل‌ها و اسیدهای آلی می‌باشند و ممکن است با اتصال به CoA فعال شوند. علاوه بر ترکیبات حاصل از متابولیسم اسیدهای آمینه، استرها (مانند اتیل بوتیرات) نیز در عطر و طعم پنی‌ر چدار نقش دارند. متابولیسم قند و چربی، بسترهای لازم برای تشکیل استر را فراهم می‌کند. استرازاها و لیپازها، هیدولازهای سرینی هستند که بسته به شرایط محیطی می‌توانند منجر به سنتز یا هیدرولیز استرها شوند، در حالی که استیل ترانسفرازها فقط سنتز استر را کاتالیز می‌کنند. استری شدن به شدت به پارامترهای محیطی مانند فعالیت آبی بستگی دارد (Smit et al., 2005). کربوکسیلازها با دکربوکسیلاسیون اسیدهای کتو بدون شاخه منجر به تولید آلدئیدهایی با طعم شور یا شیرین با آستانه بویایی کم می‌شوند. ۳-متیل بوتیریک اسید به‌عنوان ترکیب مولد عطر و طعم که با اکسیداسیون بعدی آلدئید می‌تواند تولید شود، در بسیاری از باکتری‌های اسید لاکتیک یافت شده است. اکسیداسیون آلدئیدهای زنجیره‌ای منشعب توسط آلدئید دهیدروژناز منجر به تولید اسیدهای آلی زنجیره‌ای متناوب می‌شود. در مطالعه ما از دسته دهیدروژنازها، آنزیم 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase (EC 1.1.1.35) شناسایی شد که در بیوسنتز S&R-۳-هیدروکسی بوتانوات، متابولیسم تربیتوفان، چربی‌ها و بوتانوات، تجزیه لایزین، لوسین، ایزولوسین، والین و تثبیت کربن نقش دارد. یک کمپلکس اسیدکتودهیدروژناز حاصل ترکیب دکربوکسیلاز با آلدئید دهیدروژناز در باکتری‌های اسید لاکتیک وجود دارد که قادر است اسید آلفا-کتو را مستقیماً به اسید آلی مربوطه تبدیل کند. این مجموعه آنزیمی دهیدروژناز کاملاً با پیرووات دهیدروژناز متفاوت است و از سه مولفه کاتالیزوری تشکیل شده است که شامل اسیدکتودهیدروژناز، دی هیدرولیپویل ترانسلاز^۱ و لیپامید دهیدروژناز^۲ است. دکربوکسیلاسیون اکسیداتیو اسیدهای آلفا-کتو توسط این مجموعه آنزیمی در باکتری‌های اسید لاکتیک برای تشکیل عطر و طعم مهم است؛ زیرا اسیدهای کربوکسیلیک مانند اسید ایزووالریک از اسیدهای مهم طعم دهنده هستند. علاوه بر این از جمله ترکیبات پیش‌ساز عطر و طعم از گروه اسیدهای کربوکسیلیک می‌توان استرها، تئو استرها، کرزول و اسکاتول را نیز نام برد (Smit et al., 2005).

در مطالعه ما آنزیم‌های دخیل در متابولیسم و بیوسنتز اسیدهای چرب شامل 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase و 3-

1 Dihydrolipoyl transacylase

2 Lipoamide dehydrogenase



مانوز و فروکتوز و 6-phosphofructokinase (EC 2.7.1.11) در متابولیسم فروکتوز، متان، گالاکتوز و مانوز می‌باشد.

به‌علاوه شناسایی آنزیم‌های thymidine kinase (EC 2.7.1.21) که در تولید پیریمیدین و داروها نقش دارد، aminoglycoside 3-N-acetyltransferase (EC 2.3.1.81) در سنتز Kanamycin و N-acetylneamine و سایر آنزیم‌های دخیل در تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و متابولیت‌های ثانویه که در جدول ۱ مشخص شده است نشان می‌دهد که ترکیبات با ارزش دارویی و آنتی‌بیوتیک‌ها نیز در این محصول تولید شده است که مسئولیت تولید آن می‌تواند بر عهده قارچ‌های موجود در محیط رسیدگی پنیر باشد که شناسایی آن‌ها هدف این مطالعه نبوده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که این پنیر سنتی دارای ارزش غذایی و دارویی می‌باشد. قبلاً نیز مطالعاتی در زمینه خواص دارویی و درمانی پنیرهای مشابه آن نظیر چدار انجام شده است که می‌توان به مطالعه Pritchard و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد آن‌ها توانستند پپتیدهای بیواکتیو با خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد فشار خون و فعالیت ضد میکروبی علیه *Bacillus cereus* را در پنیر چدار شناسایی کنند.

Aparna و همکاران (۲۰۱۰) نیز توانستند پپتیدهای آنتی‌اکسیدانی تولید شده توسط *Lactobacillus casei* ssp. *casei* را در پنیر چدار شناسایی کنند. پروتئولیز به دلیل هیدولیز پارا-کازئین پنیر و افزایش ظرفیت اتصال آب به واسطه تولید گروه‌های جدید آلفا-کربوکسیلیک و آلفا-آمینو و به‌طور غیرمستقیم با افزایش pH از طریق تولید NH_3 ناشی از کاتابولیسم اسیدهای آمینه آزاد نقش مهمی در ایجاد بافت پنیر دارد. توسعه بافت در طی رسیدن پنیر به دو مرحله تقسیم می‌شود. فاز اول در هفته‌های اول رسیدن (حدوداً ۲ تا ۴ هفته) اتفاق می‌افتد و شامل تبدیل بافت لاستیکی پنیر تازه و جوان به یک بافت نرم و یکنواخت‌تر است؛ که با تضعیف پارا-کازئین دلمه همراه است. فاز دوم در زمان باقی‌مانده تا رسیدن کامل رخ می‌دهد و شامل تغییرات تدریجی‌تر در بافت مانند تغییر در pH، ادامه پروتئولیز و تغییر در هیدراتاسیون پروتئین می‌باشد.

هیدرولیز متوسط کیموزین با واسطه α_{s1} -casein در Phe23- Phe24 مسئول نرم شدن بافت در فاز اول می‌باشد. ناحیه N ترمینال مولکول α_{s1} -casein به شدت آبگریز است و هیدرولیز آن در Phe23- Phe24 موجب کاهش آبگریزی سطح این مولکول می‌شود. تصور می‌شود از بین رفتن محل تعامل آبگریز در سطح α_{s1} -casein مسئول نرم شدن بافت پنیر چدار است. نرم شدن پنیر کامبرت در حین رسیدن، با رشد *Penicillium Comemberti* همراه با متابولیسم لاکتات در سطح پنیر رخ می‌دهد. در نتیجه باعث کاهش لاکتات و ایجاد گرادیان pH از سطح به سمت مرکز حاوی اسید بیشتر می‌شود. سپس در حین رسیدن، NH_3 حاصله از اسیدهای آمینه آزاد سطح پنیر را خنثی می‌کند. کاهش غلظت لاکتات در سطح در اثر متابولیسم آن، موجب مهاجرت

لاکتات از مرکز به سطح می‌شود. از طرفی غلظت کلسیم فسفات در فاز آبی سطح پنیر بیشتر از محلول آن است و به‌عنوان لایه کلسیم فسفات رسوب می‌کند که سبب گرادیان فسفات کلسیم از سطح به مرکز پنیر می‌شود. افزایش pH در سطح پنیر به pH بهینه فعالیت آنزیم پلاسمین نزدیک می‌شود. پلاسمین و کیموزین اساساً مسئول پروتئولیز اولیه کازئین‌ها در پنیرهای کامبرت هستند. ترکیبی از pH بالا، از دست دادن کلسیم و میزان کمتر پروتئولیز ماتریس کازئین باعث نرم شدن قابل توجه نمونه‌های پنیر کامبرت می‌شود که در انتهای رسیدن تقریباً مایع می‌شوند (McSweeney et al., 2006). در مطالعه ما از محتوای ژنومی شناخته شده، فعالیت پروتئازی که قبلاً نقش آن در تغییر بافت گزارش شده باشد شناسایی نشد و تغییر بافت پنیر احتمالاً به دلیل تغییرات pH و تجزیه ترکیبات آلی حاصل از فعالیت میکروبی می‌باشد. متائونومیکس کمک شایانی به محققین در شناخت تغییرات میکروبی در طی رسیدگی پنیر کرده است. از جمله می‌توان به مطالعه Lordan و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد. آن‌ها در مطالعه خود طبق تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از متائونومیکس اعلام کردند که *L. lactis* از ظرفیت ژنتیکی مناسبی برای بیوسنتز لیپیدهای قطبی و اسیدهای چرب برخوردار است که در طی تخمیر این ظرفیت افزایش یافت و براساس تجزیه و تحلیل GOهای به‌دست آمده از این تحقیق، *L. lactis* به‌عنوان فلور غالب فعالیت‌های عملکردی زیر را در طی رسیدگی پنیر حاصل از شیر بز نشان داد: Biotin carboxylase activity, biotin-[acetyl-CoA-carboxylase] ligase activity, lipid metabolic process, fatty acid biosynthetic process, glycerophospholipid metabolic process, lipid biosynthetic process, phospholipid biosynthetic process, cardiolipin synthase activity, cardiolipin biosynthetic process.

همچنین چندین عملکرد مولکولی مهم برای بیوسنتز لیپیدهای قطبی نیز به شرح زیر در این مطالعه شناسایی گردید: CTP synthase activity, CDP-diacylglycerol-glycerol-3-phosphate 3-phosphatidyltransferase activity, CDP-diacylglycerol biosynthetic process, glycerol-3-phosphate cytidyltransferase activity, CDP-glycerol glycerophosphotransferase activity. آن‌ها چندین دسته آنزیم مسئول بیوسنتز اسیدهای چرب مانند استیل CoA کربوکسیلاز (EC 6.4.1.2) و مختص بیوسنتز فسفولیپیدها که منبع اصلی آن *L. lactis* بود به شرح زیر گزارش کردند (Lordan et al., 2019): glycerol-3-phosphate acyl-transferase (EC 2.3.1.n3), glycerol-3-phosphate cytidyltransferase (EC 2.7.7.41), CDP-diacylglycerol-glycerol-3-phosphate 3-phosphatidyltransferase (EC 2.7.8.5).

در مطالعه‌ای مشابه تحقیق ما، Duru و همکاران (۲۰۱۸) بر روی تجزیه و تحلیل متائونومیکس جامعه میکروبی نوعی پنیر سوئیسی نشان دادند که فلور میکروبی غالب در طی رسیدگی پنیر را *L. lactis*،

تجزیه و تحلیل متاژنوم نشان داد که جامعه میکروبی پتانسیل عملکردی در توسعه طعم، تغییر رنگ و pH دارد.

در مطالعه ما نیز به طور مشابهی *G. arilaitensis* در رسیدگی پنیر شناسایی شد که در تحقیقات قبلی، عمدتاً برپایه شناسایی وابسته به کشت، حضور این باکتری در رسیدگی انواع پنیرها کمتر به چشم می‌خورد. احتمالاً رشد این باکتری روی محیط کشت جامد ضعیف بوده و کلنی آن به طور ضعیفی قابل استحصال است و این نشان می‌دهد که تجزیه و تحلیل متاژنومیکس به‌عنوان یک ابزار قدرتمند مستقل از کشت در شناسایی میکروارگانیسم‌ها قدرت بالایی در تشخیص دقیق کل جامعه میکروبی دارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تجزیه و تحلیل متاژنومیکس بر روی یکی از پنیرهای سنتی ایران، فرصت خوبی را جهت شناسایی میکروبیوم این پنیر و ژن‌های مسئول رسیدگی آن فراهم کرد. با وجود اینکه براساس نتایج، محصول از فلور میکروبی متنوعی برخوردار بود ولی *L. helveticus*، *S. thermophilus* و *L. lactis* به‌عنوان فلور غالب مسئول اصلی رسیدگی این پنیر شناخته شدند. به دلیل فعالیت‌های ضد میکروبی این فلور میکروبی غالب، حضور باکتری‌های بیماری‌زا با مقدار اندک احتمالاً تهدیدی برای مصرف‌کنندگان این پنیر سنتی نخواهد داشت. تجزیه و تحلیل متاژنوم آشکار کرد محتوای ژنوم این پنیر از پتانسیل بالایی در متابولیسم اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه و در نتیجه توسعه عطر و طعم برخوردار است. همچنین حضور باکتری‌های پروبیوتیک و پتانسیل ژنومیک در تولید متابولیت‌های ثانویه نظیر آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات دارویی بر خواص سلامتی بخش و ارزش تغذیه‌ای این پنیر می‌افزاید. حضور محتوای ژنومیک متناسب به یوکاریوت‌ها در این تجزیه و تحلیل نشان‌گر فعالیت قارچ‌ها در طی رسیدگی این پنیر است که نیاز به تجزیه و تحلیل بیشتر نتایج و بررسی دقیق‌تر آن در مسیر تجزیه و تحلیل یوکاریوتی دارد.

Lactobacillus و *L. helveticus*، *P. freudenreichii* *rhamnosus* تشکیل می‌دهد و طعم آجیلی و شیرین در طی رسیدگی پنیر به‌واسطه فعالیت‌های متابولیکی میکروبیوتای این پنیر توسعه می‌یابد. همچنین از نگاشت ژنومی در این مطالعه مشخص شد که پتانسیل برای مسیرهای تشکیل طعم‌های متعدد نظیر اسیدهای چرب آزاد، استوئین، دی استیل، استات، اتانول، تخمیر همولاکتیکی، متان تیول، بیوسنتز ویتامین‌ها و پروپونات وجود دارد. مشابه مطالعه ما *L. lactis* بیشترین سهم این جامعه میکروبی (حدود ۸۰-۹۰٪) را تشکیل می‌داد. در مطالعه ما هم تخمیر هترولاکتیکی و مسیر پنتوز فسفات که در تولید استالید و اتانول به‌عنوان ترکیبات موثر در طعم پنیر نقش دارند شناسایی شدند.

Escobar-Zepeda و همکاران (۲۰۱۶) در تجزیه و تحلیل متاژنوم یک پنیر مکزیکی تهیه شده به طریق سنتی و تخمیر خودبه‌خودی از شیر خام گاو نشان دادند که توازن بین جمعیت میکروبی و پتانسیل متابولیکی آن باعث ایجاد خصوصیات حسی و ایمنی آن می‌شود. این جمعیت میکروبی از *Lactobacillus*، *Leuconostoc*، *Weissella* تشکیل می‌شد. مشابه نتایج حضور میکروبیوم این پنیر توانایی متابولیکی در بیوسنتز طیف وسیعی از ترکیبات مولد عطر و طعم که اساساً با متابولیسم اسیدهای آمینه شاخه دار و اسیدهای چرب در ارتباط بود را آشکار کرد ولی برخلاف مطالعه ما هیچ گونه باکتری پاتوژنی شناسایی نشد. همچنین ژن‌های مرتبط با تولید باکتریوسین نیز شناسایی گردید.

Bertuzzi و همکاران (۲۰۱۸) توسعه طعم و توالی میکروبی را در رسیدگی سطحی پنیر چدار توسط دو مخلوط کشت متشکل از باکتری و مخمر به کمک اومیکس بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برخی گونه‌های تلقیح شده در طی رسیدگی بطور موفقیت آمیزی تثبیت شدند اما برخی دیگر که تلقیح شده بودند در طی رسیدگی شناسایی نشدند و *G. arilaitensis* به‌عنوان غالب‌ترین گونه باکتریایی شناخته شد که جزئی از مخلوط کشت اولیه نبود. همچنین مخمرهای *Debaryomyces hansenii* و *Geotrichum candidum* که در طی فاز اولیه رسیدگی شناسایی شده بودند در فاز انتهایی توسط

منابع

- Aparna, G., Bimlesh, M., Rajesh, K., & Sangwan, R. B., 2010, Identification of antioxidant peptides in cheddar cheese made with adjunct culture *Lactobacillus casei* ssp. *casei* 300. *Milchwissenschaft*, 65(4), 396-399.
- Ben Lawlor, J., Delahunty, C. M., Wilkinson, M. G., & Sheehan, J., 2003, Swiss-type and Swiss-Cheddar hybrid-type cheeses: effects of manufacture on sensory character and relationships between the sensory attributes and volatile compounds and gross compositional constituents. *International journal of dairy technology*, 56(1), 39-51.
- Bertuzzi, A. S., Walsh, A. M., Sheehan, J. J., Cotter, P. D., Crispie, F., McSweeney, P. L., & Rea, M. C., 2018, Omics-based insights into flavor development and microbial succession within surface-ripened cheese. *MSystems*, 3(1).
- Broadbent, J. R., Brighton, C., McMahon, D. J., Farkye, N. Y., Johnson, M. E., & Steele, J. L., 2013, Microbiology of Cheddar cheese made with different fat contents using a *Lactococcus lactis* single-strain starter. *Journal of dairy science*, 96(7), 4212-4222.

- Cardinal, M. J., Meghrou, J., Lacroix, C., & Simard, R. E., 1997, Isolation of *Lactococcus lactis* strains producing inhibitory activity against *Listeria*. *Food Biotechnology*, 11(2), 129-146.
- Duru, I. C., Laine, P., Andreevskaya, M., Paulin, L., Kananen, S., Tynkkynen, S., & Smolander, O. P., 2018, Metagenomic and metatranscriptomic analysis of the microbial community in Swiss-type Maasdam cheese during ripening. *International journal of food microbiology*, 281, 10-22.
- Escobar-Zepeda, A., Sanchez-Flores, A., & Baruch, M. Q., 2016, Metagenomic analysis of a Mexican ripened cheese reveals a unique complex microbiota. *Food microbiology*, 57, 116-127.
- Fitzsimons, N. A., Cogan, T. M., Condon, S., & Beresford, T., 1999, Phenotypic and genotypic characterization of non-starter lactic acid bacteria in mature cheddar cheese. *Applied and environmental microbiology*, 65(8), 3418-3426.
- Ganesan, B., Weimer, B. C., Pinzon, J., Kong, N. D., Rompato, G., Brothersen, C., & McMahon, D. J., 2014, Probiotic bacteria survive in Cheddar cheese and modify populations of other lactic acid bacteria. *Journal of applied microbiology*, 116(6), 1642-1656.
- Harrigan, W., 1998, Laboratory methods in food microbiology: Gulf Professional Publishing.
<https://www.genome.jp/kegg/>.
<https://www.genome.jp/kegg/kaas/>
- Johnson, M. E., 2014, Mesophilic and thermophilic cultures used in traditional cheesemaking. *Cheese and Microbes*, 73-94.
- Kergourlay, G., Taminiau, B., Daube, G., & Vergès, M. C. C., 2015, Metagenomic insights into the dynamics of microbial communities in food. *International journal of food microbiology*, 213, 31-39.
- Lahtinen, S., Ouwehand, A. C., Salminen, S., & von Wright, A. (Eds.), 2011, *Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects*. Crc Press.
- Liggett, R. E., Drake, M. A., & Delwiche, J. F., 2008, Impact of flavor attributes on consumer liking of Swiss cheese. *Journal of dairy science*, 91(2), 466-476.
- Lordan, R., Walsh, A., Crispie, F., Finnegan, L., Demuru, M., Tsoupras, A., Zabetakis, I., 2019, Caprine milk fermentation enhances the antithrombotic properties of cheese polar lipids. *Journal of Functional Foods*, 61, 103507.
- Marilley, L., & Casey, M. G., 2004, Flavours of cheese products: metabolic pathways, analytical tools and identification of producing strains. *International journal of food microbiology*, 90(2), 139-159.
- McSweeney, P. L. H., Hayaloglu, A. A., O'Mahony, J. A., & Bansal, N., 2006, Perspectives on cheese ripening. *Australian journal of dairy technology*, 61(2), 69.
- Murtaza, M. A., Ur-Rehman, S., Anjum, F. M., Huma, N., & Hafiz, I., 2014, Cheddar cheese ripening and flavor characterization: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(10), 1309-1321.
- Pritchard, S. R., Phillips, M., & Kailasapathy, K., 2010, Identification of bioactive peptides in commercial Cheddar cheese. *Food research international*, 43(5), 1545-1548.
- Smit, G., Smit, B. A., & Engels, W. J., 2005, Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS microbiology reviews*, 29(3), 591-610.
- Smit, G., Smit, B. A., & Engels, W. J., 2005, Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS microbiology reviews*, 29(3), 591-610.
- Swearingen, P. A., O'sullivan, D. J., & Warthesen, J. J., 2001, Isolation, characterization, and influence of native, nonstarter lactic acid bacteria on Cheddar cheese quality. *Journal of Dairy Science*, 84(1), 50-59.

Metagenomic analysis of the microbial community in an Iranian local cheese

N. Davati^{1*}, S. Bahrami²

Received: 2020.07.26

Accepted: 2020.08.23

Introduction: The consumption of local and traditional dairy products have increased in recent years and some local cheeses as functional foods with desirable organoleptic attributes have positive effects on human health. However, there is concern that consumption of these products may increase the risk of exposure to food born bacteria such as Enterobacteriaceae family, *Staphylococcus aureus*, and *Listeria monocytogenes*. The microbiome of fermented products such as cheese is one of the most powerful and important parameters in flavor development and ripening. Furthermore, cheese flavor formation as a dynamic biochemical process is related to environmental conditions including milk source, ripening time, and temperature of storage. These parameters affect the microbial community structures and metabolic pathways.

Materials and Methods: In this study, a local cheese made from cow milk was prepared based on a local recipe. The traditional cheese was manufactured using mesophilic starter culture. The cheese was ripened at 10°C for 3 months. The samples were collected from the surface of the cheese. The serial dilution was performed until 10⁻¹⁰ dilution in sterile ringer. For isolation and phenotypic identification of lactic acid bacteria, a 100 µl of diluted sample was cultured on MRS agar and M17 agar, followed by incubation at 37°C for 48 h under anaerobic conditions with *Gas-Pak A*. After purification of colonies, the Gram-positive and catalase-negative isolates were phenotypically identified at genus level using physiological tests including capacity of gas production, growth at different pHs (9.6 and 4.4), salt tolerance (%6.5 and 18%), and different growth temperatures (10°C and 45°C). DNA extraction was performed with DNeasy®Blood & Tissue Kit. The microbial population of the cheese and its functional potential for ripening were investigated by whole-metagenome sequencing. The prepared library using Nextera™ DNA approach was sequenced by using the Illumina HiSeq® 2000, 2×100 bp paired- end reads. The metagenomics data of cheese microbiome were analyzed for taxonomic profiling and functional potential by De Novo Assemble Metagenome and Bin Pangenomes. The metabolic pathways were extracted from the KEGG database.

Results and Discussion: The results of phenotypic identification showed that most of the lactic acid bacteria strains belonged to Streptococcus, Lactococcus, and Lactobacillus. Also, the results of metagenomics analysis showed that there were various genera including Streptococcus, Lactococcus, Lactobacillus, Acinetobacter, Enterococcus, Glutamicibacter, and Weissella in cheese. *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis*, and *Lactobacillus helveticus* were identified as dominant species. Pathogenic bacteria such as Enterobacter, Listeria, and Staphylococcus were also slightly found and therefore there is nearly no concern for consumers and human health. The microbiome of this cheese showed the metabolic potential for the biosynthesis of a wide range of aroma compounds and associated with flavor development that related with the metabolism and biosynthesis of methane, branched chain amino acids (isoleucine, valine, and leucine), aromatic amino acids (tyrosine, tryptophan, and phenylalanine), other amino acids (beta-alanine, L-lysine), fatty acids (arachidonate, palmitate, stearate), and monosaccharides. The enzymes related to biosynthesis and metabolism of amino acids were found during ripening of this cheese. These enzymes included 4-hydroxy-tetrahydronicotinate reductase, 2-isopropylmalate synthase, 3-dehydroquinate dehydratase, 3-hydroxyisobutyryl-CoA hydrolase, 5-carboxymethyl-2-hydroxymuconate delta-isomerase, and 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase. Based on the results of KAAS (KEGG Automatic Annotation Server), proteins involved in metabolic pathways of microbial community on the surface of the traditional cheese included Cytochrome P450 Photosynthesis Proteins, Peptidases & Inhibitors, Glycosyltransferases, Lipopolysaccharide Biosynthesis Proteins, Peptidoglycan Biosynthesis and Degradation Proteins, Lipid Biosynthesis Proteins, Protein Kinases, Polyketide Biosynthesis Proteins Prenyltransferases, Protein Phosphatases & Associated Proteins, and Amino Acid Related Enzymes. The cheese under our study as a functional food showed health benefits for consumers due to the presence of probiotic bacteria and genes encoded for biosynthesis of valuable compounds including antibiotics, drugs, and antioxidants.

Keywords: Cheese, Metagenomic, Flavor, Lactic acid bacteria.

1 Assistant professor, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2. MSc Student, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

(*Corresponding Author Email: n.davati@basu.ac.ir)

مقاله پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های پروبیوتیکی و ضدقارچی باکتری اسید لاکتیک غالب جدا شده از خمیر ترش کینوا

الهام روحی^۱ - علیرضا صادقی^{۲*} - سید مهدی جعفری^۳ - محمد عبدالحسینی^۴ - الهام اسدپور^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

چکیده

مطالعه ویژگی‌های پروبیوتیکی و ضدقارچی باکتری‌های اسید لاکتیک جدا شده از بستره‌های تخمیری که فلور میکروبی آن‌ها کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است جهت دستیابی به کشت‌های میکروبی پروبیوتیک و محافظت‌کننده از اهمیت به‌سزایی در صنایع تخمیری برخوردار است. در پژوهش حاضر، باکتری اسید لاکتیک غالب پس از تکرار فرایند مایه‌گیری از خمیر ترش کینوا، جداسازی و سپس با توالی‌یابی محصولات PCR حاصل از تکثیر توالی هدف مشخص از ژن *16S rDNA* آن شناسایی شد. در ادامه، قابلیت‌های پروبیوتیکی جدایه لاکتیکی، شامل مقاومت به اسید و صفرا، اثر ضدباکتریایی، ویژگی‌های خود و دگر اتصالی، حساسیت آنتی‌بیوتیکی و همولیز خون مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، اثر بازدارنده جدایه لاکتیکی بر رشد *Aspergillus niger* نیز به روش کشت دو لایه بررسی شد. توالی‌یابی محصولات PCR منجر به شناسایی *Enterococcus hirae* به‌عنوان جدایه لاکتیکی غالب خمیر ترش کینوا گردید. همچنین این جدایه لاکتیکی پس از تیمار متوالی اسید و صفرا از زنده‌مانی مناسبی برخوردار بود. علاوه بر این، جدایه لاکتیکی بر *Bacillus cereus* نسبت به سایر عوامل باکتریایی غذازاد اثر بازدارنده بیشتری داشت و تأثیر بازدارندگی روماند خام جدایه لاکتیکی بر عوامل بیماری‌زا به شکل معنی‌داری ($P < 0.05$) از تأثیر روماند خشی شده آن بیشتر بود. *E. hirae* دارای قابلیت خود اتصالی معادل ۵۴/۷۱ درصد، فاقد قابلیت همولیز و دارای الگوی مقاومت آنتی‌بیوتیکی مناسبی بود. اثر ضدقارچی این جدایه لاکتیکی بر روی *A. niger* نیز مورد تایید قرار گرفت. با توجه به نتایج این پژوهش، جدایه لاکتیکی غالب خمیر ترش کینوا از قابلیت مناسبی برای استفاده به عنوان کشت پروبیوتیک، محافظت‌کننده و یا همراه در صنایع تخمیری برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: خمیر ترش کینوا، جدایه لاکتیکی غالب، فرایند مایه‌گیری، پروبیوتیک، کشت محافظت‌کننده.

مقدمه

میکروبی روده ایفا کرده و اثرات سودمندی در انسان به جای می‌گذارند که از قابلیت‌هایی همچون جلوگیری از تهاجم باکتری‌های بیماری‌زا و بهبود عملکرد حامل‌های مخاطی^۱ ناشی می‌شود. اصطلاح پروبیوتیک به معنی "برای زندگی" نیز به میکروارگانیسم‌هایی اطلاق می‌شود که با جمعیت مشخص پس از زنده‌مانی در دستگاه گوارش در سلامت انسان مؤثر باشند. برخی از باکتری‌های اسید لاکتیک جزء پروبیوتیک‌ها محسوب می‌شوند. این باکتری‌ها به محیط اسیدی معده، بسیار مقاوم بوده و با عبور از روده و قرار گرفتن در معرض مخاط آن، حتی سه روز پس از مصرف قادر به زنده‌مانی و استقرار در آن می‌باشند. این امر، موجب افزایش مقاومت بدن، سلامت سیستم گوارش و همچنین مهار برخی از باکتری‌های بیماری‌زا می‌شود (Saxelin et al, 2005).

ارزیابی ویژگی‌های باکتری‌های اسید لاکتیک جدا شده از بستره‌های تخمیری با هدف تأمین کشت میکروبی در صنایع تخمیری از اهمیت بسزایی برخوردار است. باکتری‌های اسید لاکتیک، گروهی از باکتری‌های گرم مثبت، کاتالاز منفی و غیراسپورساز هستند که متابولیت‌هایی نظیر اسید استیک، اتانول، باکتریوسین، ترکیبات معطر و آگزوپلی‌ساکارید تولید کرده و محصول نهایی تخمیر آن‌ها اسید لاکتیک است. این باکتری‌ها که در طی قرن‌ها در تولید مواد غذایی و نوشیدنی‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، توسط سازمان غذا و داروی آمریکا، ایمن^۲ (GRAS) شناخته شده‌اند. این باکتری‌ها همچنین به‌عنوان ساکنان طبیعی دستگاه گوارش انسان، نقش بسیار مهمی در بقای جمعیت

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

DOI: 10.22067/iftstrj.v17i4.83240

6 Generally Recognized As Safe

7 Epithelial barrier

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد، گروه زیست فناوری مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴ - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۵ - استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه غیر انتفاعی بهاران، گرگان، ایران.

همچنین عدم تاثیر جدایه منتخب بر سلولهای خونی و آنزیمهای کبدی موش تغذیه شده با آن را به عنوان مهم ترین معیارهای بررسی ایمنی پروبیوتیکها در موجود زنده^۳ تایید کردند.

تاکنون مطالعات اندکی در خصوص بررسی ویژگیهای پروبیوتیکی باکتریهای اسید لاکتیک جدا شده از خمیرترش کینوا صورت گرفته است. از این رو، پژوهش حاضر به منظور ارزیابی ویژگیهای پروبیوتیکی و ضدقارچی جدایه لاکتیک غالب خمیرترش کینوا انجام شد.

مواد و روشها

در این پژوهش، ابتدا آرد کینوا، الک (مش ۴۵) گردیده و ویژگیهای آرد تولیدی نیز بر اساس روشهای مدون (AOAC, 2005) تعیین شد. محیطهای کشت میکروبی از شرکت Merck آلمان تهیه شدند و سویههای میکروبی مورد استفاده شامل *Escherichia coli* (PTCC 1399)، *Salmonella*، *Staphylococcus aureus* (PTCC 1112)، *Bacillus cereus* (PTCC 1015)، *aenterica* (PTCC 1709) و *Aspergillus niger* (PTCC 5012) نیز از سازمان پژوهشهای علمی صنعتی ایران، خریداری و سپس در محیطهای کشت مناسب، فعال سازی گردیدند.

تخمیر تصادفی کینوا

برای تخمیر تصادفی کینوا از مخلوط آرد کینوا و آب با بازده خمیر (نسبت خمیر به آرد $100 \times$) معادل ۲۰۰ استفاده شد. مخلوط مذکور در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت تخمیر گردید (Axel et al, 2016)، و برای تعیین اسیدیته قابل تیتیر خمیرترش کینوا، ۱۰ گرم خمیرترش و ۹۰ میلی لیتر آب مقطر با NaOH ۰/۱ مولار تا رسیدن به pH معادل ۸/۵ تیتیر شد و سپس اسیدیته برحسب میلی لیتر NaOH مصرفی گزارش گردید.

جداسازی و شناسایی باکتری اسید لاکتیک غالب

جهت جداسازی فلور لاکتیک غالب خمیرترش کینوا پس از تکرار فرآیند مایه گیری (افزودن ۲۵ درصد از خمیرترش روز قبل به خمیرترش تولیدی) از کشت سطحی خمیرترش پس از رسیدن pH آن به حدود ۴ استفاده شد. در ادامه برای رسیدن به تک پرگنه خالص جدایه های لاکتیک از آن ها کشت خطی تهیه گردید. سپس تک پرگنه خالص به دست آمده توسط آزمون های کاتالاز و رنگ آمیزی گرم، بررسی و DNA آن ها استخراج گردید (کیت استخراج DNA، بیونیر آکیوپرپ K-3032، کره جنوبی). سپس DNA استخراج شده توسط PCR با پرایمرهای یونیورسال F44 و R1543 تکثیر و متعاباً محصولات PCR

کینوا^۱ به عنوان یک شبه غله، دارای مقادیر قابل توجهی پروتئین، ویتامین و مواد معدنی بوده، همچنین غنی از فیبر، کلسیم، امگا۳، آهن، لیزین، منگنز و فسفر است. این شبه غله، حاوی مقادیر قابل توجهی از پلی فنول ها، آنتی اکسیدان ها و فیتوسترول نیز می باشد (Axel et al, 2015). تاکنون، مطالعاتی در خصوص شناسایی باکتری های اسید لاکتیک جدا شده از شبه غلات تخمیر شده و ارزیابی ویژگی های پروبیوتیکی و ضدقارچی آن ها گزارش شده است. به عنوان مثال، Manini و همکاران (۲۰۱۶)، با بررسی چندین باکتری اسید لاکتیک جدا شده از خمیرترش سبوس گندم دریافتند که این باکتری ها دارای خواص پروبیوتیکی شامل تحمل اسید و صفرا، قابلیت اتصال به سلول های مخاطی و فعالیت ضد لیستریایی بودند و از خود خاصیت ضدقارچی نیز نشان دادند. طبق گزارش Oliveira و همکاران (۲۰۱۵)، باکتری های *Lactobacillus* و *Lactobacillus amylovorus* در برابر قارچ *Fusarium culmorum* به مدت ۷ روز اثر بازدارندگی داشتند. همچنین Axel و همکاران (۲۰۱۵)، بیان کردند که ممانعت از توسعه قارچ و زمان ماندگاری نان خمیرترشی حاوی باکتری های اسید لاکتیک در مقایسه با نمونه کنترل، افزایش قابل توجهی داشت به طوری که زمان ماندگاری نان خمیرترشی ۲۵ درصد افزایش یافت.

علاوه بر این، گزارش شده است که *Lactobacillus rossiae* و *Lactobacillus plantarum* در اثر تولید اسیدهای آلی به خصوص اسید فرمیک در برابر قارچ های نانوائی نظیر *Penicillium roqueforti* از خود مقاومت نشان دادند (Rizzello et al, 2016). Demirbaş و همکاران (۲۰۱۷)، نیز از یک نمونه خمیرترش، ۱۵ سویه باکتری اسید لاکتیک جداسازی کرده و اثر آن ها را بر عوامل بیماری زای غذازاد نظیر *Salmonella typhimurium* و قارچ هایی چون *Aspergillus niger* و *Penicillium chrysogenum* بررسی کردند. Matejčeková و همکاران (۲۰۱۷) نیز *Lactobacillus rhamnosus* را از باکویت^۲ تخمیر شده جداسازی نموده و آن را به عنوان یکی از پروبیوتیک های دارای قابلیت جایگزینی در دستگاه گوارش معرفی کردند. همچنین Kunchala و همکاران (۲۰۱۶) بر اساس ویژگی هایی چون زنده ماندن در اسید و صفرا، مقاومت به آنتی بیوتیک، فعالیت ضد باکتریایی و تعادل فنولی، چند باکتری پروبیوتیک شامل *Bacillus subtilis*، *Bacillus cereus* و *Bacillus pumilus* را از خمیر سورگوم و ارزن مرواریدی جداسازی و شناسایی کردند. Sadeghi و همکاران (۲۰۱۹) نیز ضمن بررسی قابلیت های پروبیوتیکی جدایه لاکتیک منتخب خمیرترش سبوس برنج، تاثیر جالب توجه آن بر کاهش آفات توکسین ها را گزارش نمودند. این محققین

استاندارد ۰/۵ مک‌فارلند تنظیم گردید. در مرحله بعد، دیسک‌های کاغذی استریل (پادتن طب، ایران) با فاصله معین از لبه پلیت در سطح محیط کشت حاوی باکتری‌های غذازاد قرار داده شد و سپس ۴۰ میکرولیتر از بافر فسفات حاوی جدایه لاکتیکی با جمعیت معادل ۰/۵ مک‌فارلند بر دیسک‌های کاغذی ریخته شد. نهایتاً پلیت‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری شده و قطر هاله عدم رشد نیز با نرم‌افزار Image J (نسخه 1.42e) اندازه‌گیری گردید (Reller et al, 2009).

اثر ضدباکتریایی رومانند فاقد سلول^۳ جدایه لاکتیکی

برای ارزیابی اثر رومانند فاقد سلول جدایه لاکتیکی در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی انتخابی (که بیشترین اثر بازدارنده جدایه لاکتیکی در مرحله قبل در برابر آن‌ها مشاهده شده بود) از روش ریز رقت (میکروداپلوشن براث) استفاده شد. بدین منظور، جمعیت باکتری‌های بیماری‌زا مورد استفاده به 10^8 CFU/mL رسانیده شد و سپس اثر رومانند فاقد سلول خام و خنثی شده بر آن‌ها بررسی گردید. جهت تهیه رومانند فاقد سلول خام، کشت ۲۴ ساعته جدایه لاکتیکی با 14000 دور در دقیقه، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس مایع رویی به‌دست آمده از فیلتر سرنگی (جت بیوفیل، چین) ۰/۴۵ میکرونی عبور داده شد. همچنین برای تهیه رومانند فاقد سلول خنثی شده، pH رومانند فاقد سلول خام تهیه شده با سود یک نرمال تا pH=۶/۵ خنثی گردید. نمونه کنترل منفی در این آزمون، شامل مخلوط ۱۸۵ میکرولیتر رومانند فاقد سلول خام و ۱۵ میکرولیتر از هر یک از عوامل باکتریایی اتوکلاو شده و نمونه کنترل مثبت نیز شامل مخلوط ۱۸۵ میکرولیتر محیط کشت و ۱۵ میکرولیتر باکتری بیماری‌زا بودند. همچنین در چاهک مربوط به رومانند فاقد سلول خام و خنثی شده، مقدار ۱۸۵ میکرولیتر از هر رومانند و ۱۵ میکرولیتر از باکتری بیماری‌زای مورد نظر اضافه شد. سرانجام این میکروپلیت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد و سپس توسط دستگاه خوانشگر میکروپلیت (سکو MPR01، آلمان) در طول موج ۶۲۰ نانومتر جذب‌سنجی صورت گرفت (Campana et al, 2017).

قابلیت خوداتصال و دگراتصال

در ارزیابی خاصیت دگراتصال جدایه لاکتیکی با *E. coli* به‌عنوان یک عامل عفونی روده، سوسپانسیونی هم حجم با جمعیت مشابه متشکل از جدایه لاکتیکی و باکتری بیماری‌زا به صورت منفرد و همچنین مخلوط آن‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد برای ۴ ساعت

پس از ژل الکتروفورز (ولتاژ ۹۰، به مدت ۲۵ دقیقه در آگارز ۱/۵ درصد)، توالی‌یابی شدند (بیونیر، کره جنوبی). واکنش PCR در حجم نهایی ۲۰ میکرولیتر، شامل ۱۰ میکرولیتر مخلوط واکنشگرهای آماده مصرف PCR (آمپلیکون، دانمارک)، ۱/۵ میکرولیتر از هر پرایمر با غلظت ۰/۵ میکرومولار، ۲ میکرولیتر DNA با غلظت ۱۰۰ نانوگرم و ۵ میکرولیتر آب دیونیزه انجام گردید. در مرحله اول تکثیر، واسرشت DNA با شروع داغ در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه، آغاز و طی ۳۵ چرخه با برنامه حرارتی ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ثانیه، ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ثانیه و ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد (ترموسایکلر کوریت CG1-96، استرالیا) خاتمه یافت. در ادامه به‌منظور شناسایی جدایه لاکتیکی، محصولات PCR پس از توالی‌یابی با استفاده از رویه Blast^۱ با داده‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی NCBI^۲ هم‌ردیف شدند (Abnous et al, 2009).

مقاومت جدایه لاکتیکی به تیمار متوالی اسید و صفرا

بدین منظور، ابتدا سوسپانسیون حاوی جدایه لاکتیکی (کشت فعال ۲۴ ساعته) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۵ دقیقه با 10000 g سانتریفوژ (هانیل کومبای R 514، کره جنوبی) گردید. سپس با حذف فاز بالایی، رسوب باقیمانده در محلول بافر فسفات استریل با جذبی معادل ۰/۵ مک‌فارلند (اسپکتروفتومتر PG اینسترومنتز، انگلستان) حل شد. در ادامه با استفاده از اسید کلریدریک یک نرمال، pH سوسپانسیون مذکور به معادل ۲ رسانده شد و به مدت ۱/۵ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری گردید. در مرحله بعد pH این سوسپانسیون با سود یک نرمال به حدود ۶ تنظیم گردید و ۰/۳ درصد وزنی / حجمی نمک صفراوی نیز به آن افزوده شد. سپس گرمخانه‌گذاری مجدد سوسپانسیون به مدت ۱/۵ ساعت انجام گرفت و در انتها جمعیت جدایه لاکتیکی با رقت‌سازی متوالی در بافر فسفات استریل و کشت سطحی بر MRS آگار در مقایسه با نمونه شاهد (تیمار نشده) تعیین گردید (Zhang et al, 2011).

اثر ضدباکتریایی جدایه لاکتیکی

جهت ارزیابی خواص ضدباکتریایی جدایه لاکتیکی در برابر *S. aureus*, *E. coli*, *S. enterica* و *B. cereus* از روش انتشار در دیسک استفاده شد. ابتدا جدایه لاکتیکی در محیط کشت MRS براث و باکتری‌های غذازاد مذکور در محیط کشت BHI براث در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت کشت داده شدند. سپس جمعیت جدایه لاکتیکی و عوامل باکتریایی با روش جذب‌خوانی به معادل

3 (CFS) Cell free supernatant

1 Basic local alignment search tool

2 National center for biotechnology information

لاکتیکی در مرکز پلیت‌های حاوی محیط کشت MRS آگار، خطوط سه سانتی‌متری با فاصله متناسب از یکدیگر کشیده و به مدت ۷۲ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. سپس از مخلوط سوسپانسیون اسپور قارچ مذکور با جمعیت 10^4 spore/mL به صورت کشت دو لایه، با محیط کشت YGC آگار بر روی خطوط کشت داده شده ریخته و پس از انعقاد لایه دوم، پلیت‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند و در نهایت، قطر هاله عدم رشد قارچ در اطراف خطوط کشت داده شده جدایه لاکتیکی، تعیین گردید (Magnusson *et al*, 2003).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از طرح کاملاً تصادفی به روش آنالیز واریانس یک‌طرفه، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و داده‌ها با نرم افزار (نسخه ۱۶) SPSS مورد آنالیز قرار گرفته و برای ترسیم نمودارها نیز از Microsoft Office Excel 2016 استفاده گردید. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD)^۱ در سطح $P < 0.05$ استفاده شد.

نتایج و بحث

شناسایی باکتری اسید لاکتیک غالب

در این پژوهش، آرد کینوا دارای ۴/۶ درصد چربی، ۱۲/۷ درصد پروتئین، ۱/۸ درصد خاکستر، ۱۱/۵ درصد رطوبت و ۶۹/۴ درصد کربوهیدرات بود. همچنین پس از چهار مرتبه تکرار فرآیند مایه‌گیری، pH خمیرترش کینوا به حدود ۴ رسید و باکتری اسید لاکتیک غالب به روشی که قبلاً توضیح داده شد جدا گردید. بر اساس نتایج آزمون‌های بیوشیمیایی و مورفولوژی، جدایه لاکتیکی غالب، یک باکتری گرم مثبت، کاتالاز منفی و کروی شکل بود. ژل الکتروفورز محصولات PCR نیز منجر به تایید اولیه تکثیر اختصاصی توالی هدف ۱۵۰۰ جفت بازی در DNA ژنومی جدایه لاکتیکی در مقایسه با نمونه کنترل منفی (فاقد DNA) و کنترل مثبت (DNA استخراج شده از سویه کلکسیونی) شد (شکل ۱). سرانجام بر اساس نتایج توالی‌یابی محصولات PCR و همدردی آن‌ها با داده‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی NCBI، *Enterococcus hirae* (۹۸ درصد تشابه با شماره دسترسی NR_075022.1) به عنوان جدایه لاکتیکی غالب خمیرترش کینوا شناسایی گردید.

Rizzello و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی از خمیرترش کینوا سویه‌های *L. plantarum* و *Pediococcus pentosaceus* را جدا کردند. همچنین Ogunsakin و همکاران (۲۰۱۷) از خمیرترش

گرمخانه‌گذاری شدند. سپس جذب این سوسپانسیون‌ها در ۶۰۰ نانومتر خوانده شد و از طریق معادله $100 \times [(AP+Alac)/2 - (Amix)/AP+Alac]$ ، میزان خاصیت دگراتیو محاسبه گردید. در این رابطه A_p : جذب سوسپانسیون باکتری بیماری‌زا، A_{lac} : جذب سوسپانسیون جدایه لاکتیکی و A_{mix} : جذب مخلوط سوسپانسیون جدایه لاکتیکی و باکتری بیماری‌زا پس از ۴ ساعت گرمخانه‌گذاری است. همچنین برای ارزیابی قابلیت خود اتصالی جدایه لاکتیکی، چهار میلی‌لیتر از سوسپانسیون میکروبی در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری گردید و جذب نوری سوسپانسیون در زمان‌های متفاوت (صفر و ۲۴ ساعت) در طول موج ۶۰۰ نانومتر خوانده شد و در نهایت، میزان قابلیت خود اتصالی بر اساس رابطه $100 \times [1 - (A_t/A_0)]$ محاسبه گشت. در این رابطه A_t مقدار جذب پس از ۲۴ ساعت و A_0 مقدار جذب در ساعت صفر است (Collado *et al*, 2007; Zhang *et al*, 2011).

مقاومت آنتی‌بیوتیکی

برای بررسی مقاومت آنتی‌بیوتیکی، ابتدا ۲۰۰ میکرولیتر از کشت ۲۴ ساعته باکتری اسید لاکتیک به ۴ میلی‌لیتر محیط کشت MRS آگار یک درصد (نیمه جامد) اضافه شد. سپس مخلوط مذکور بر سطح پلیت‌های حاوی ۴ میلی‌لیتر MRS آگار ۱/۵ درصد ریخته شد. در ادامه، دیسک‌های آنتی‌بیوتیک شامل آمپی‌سیلین، جنتامایسین، استرپتومایسین، سفازولین، سیپروفلوکساسین، پنی‌سیلین، سفالوتین، ایمپینم، نوویوسین، کلیندامایسین، ونکومایسین، سفترایکسون و نالیدیکسیک اسید (پادتن طب، ایران) بر روی سطح هر پلیت قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، قطر هاله عدم رشد در اطراف دیسک‌ها اندازه‌گیری شده و به صورت مقاوم (قطر کمتر یا مساوی ۱۴ میلی‌متر)، حساسیت نسبی (قطر ۱۵ تا ۱۹ میلی‌متر) و حساس (قطر بیش از ۲۰ میلی‌متر) گزارش گردید (Rojo-Bezares *et al*, 2006).

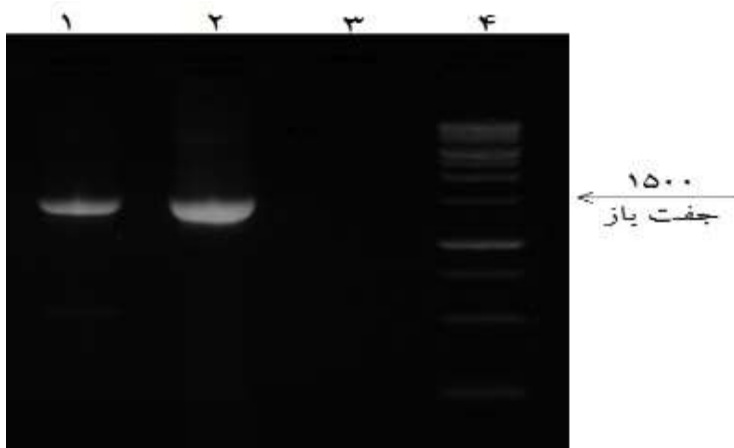
قابلیت همولیز خون

بدین منظور، جدایه لاکتیکی بر سطح محیط کشت Blood آگار حاوی ۵ درصد خون گوسفند، کشت داده شد و پس از ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری در ۳۷ درجه سانتی‌گراد، ایجاد هاله و تغییر رنگ در محیط کشت بررسی گردید (Angmo *et al*, 2016).

اثر ضدقارچی

برای ارزیابی اثر ضدقارچی جدایه لاکتیکی در برابر *A. niger* از روش کشت دو لایه استفاده شد. در این روش از کشت فعال جدایه

تکرار فرایند مایه‌گیری، اندازه ذرات آرد، نسبت آب به آرد و ماهیت غلات (واریت، محتوای خاکستر و پروتئین) بستگی دارد. لذا همواره احتمال مواجهه با فلور میکروبی متفاوت در انواع تخمیر شده این بسترها وجود دارد.



شکل ۱- نتایج ژل الکتروفورز محصولات PCR. لاین ۱: کنترل مثبت، لاین ۲: جدایه لاکتیکی، لاین ۳: کنترل منفی و لاین ۴: لدر یک کیلو جفت بازی.

می‌زند (Delgado et al, 2007). مقاومت باکتری‌های اسید لاکتیک به اسید به الگوی تحمل pH آن‌ها (که خود بر فعالیت آنزیم مذکور مؤثر است) و همچنین عوامل خارجی نظیر محیط کشت و شرایط گرمخانه‌گذاری بستگی دارد. علاوه بر این، ماتریکس و محتوای تغذیه‌ای ماده غذایی نیز می‌تواند برای باکتری‌ها در برابر مخاط روده و معده، نقش محافظتی ایفا کند. لذا اجزای آرد کینوا (پروتئین، لیپید و فیبر) بر تحمل شرایط دستگاه گوارش در پروبیوتیک‌ها اثر دارد (Casarotti et al, 2014).

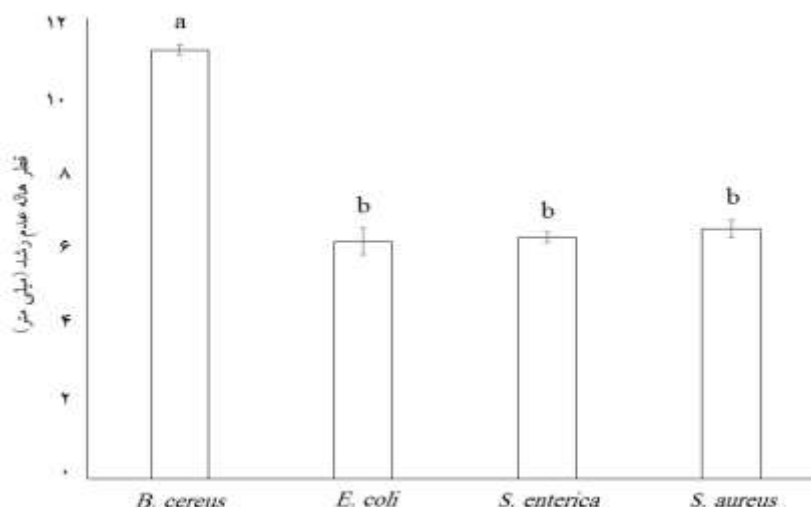
اثر ضدباکتریایی جدایه لاکتیکی به روش انتشار در دیسک

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است اثر بازدارنده جدایه لاکتیکی بر روی *B. cereus* به شکل معنی‌داری ($P < 0.05$) از سایر عوامل باکتریایی غذازاد مورد مطالعه بیشتر بود. علاوه بر این، قطر هاله عدم رشد *S. aureus* از *E. coli* و *S. enterica* در حضور جدایه لاکتیکی بیشتر بود اما بین اثر ضدباکتریایی جدایه لاکتیکی بر روی این سه عامل باکتریایی غذازاد، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در مطالعه Adisa و Ifesan (۲۰۱۶) در خصوص اثر بازدارنده باکتری‌های پروبیوتیک جدا شده از تخمیر خودبه‌خودی شبه غلات در برابر عوامل بیماری‌زا، مشخص شد که این باکتری‌ها اثر باکتریوستاتیک و باکتریوسیدال داشته و بیشترین اثر، مربوط به *L. plantarum* در برابر *S. aureus* بود. همچنین Demirbaş و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که از بین ۱۵ باکتری پروبیوتیک جدا شده از خمیرترش،

مقاومت به اسید و صفرا

زنده‌مانی جدایه لاکتیکی پس از تیمار متوالی اسید و صفرا از $8 \log \text{CFU/mL}$ به $6 \log \text{CFU/mL}$ در مقایسه با نمونه کنترل رسید. Manini و همکاران (۲۰۱۶) طی پژوهشی دریافتند که *Lactobacillus brevis* و *Leuconostoc mesenteroides* *P. pentosaceus* قادر به زنده‌مانی در شرایط شبیه‌سازی شده دستگاه گوارش بودند. همچنین طبق مطالعه Han و همکاران (۲۰۱۷) عنوان گردید که *L. brevis* و *Lactobacillus curvatus* *P. pentosaceus* به‌ترتیب، بیشترین مقاومت به صفرا و کوتاه‌ترین فاز تاخیری رشد را داشتند. Shahrestani و همکاران (۲۰۱۹) نیز طی پژوهشی گزارش کردند که از بین ۲۸ باکتری اسید لاکتیک، ۵ سویه پروبیوتیک مقاوم به اسید و صفرا شناسایی شدند. زنده‌مانی به اسید و صفرا جزء ویژگی‌های اصلی مورد نیاز باکتری‌های پروبیوتیک جهت زنده‌مانی و رشد در معده و روده کوچک می‌باشد. غلظت ۰/۳ درصد نمک صفراوی نیز غلظت بحرانی بوده و برای غربالگری گونه‌های مقاوم مناسب است (Ruiz Rodríguez et al, 2016). بر اساس مطالعات صورت گرفته، صفرا حتی در غلظت‌های پایین هم می‌تواند با تأثیر بر دیواره سلولی میکروارگانیسم‌ها موجب مهار رشد آن‌ها شود. عموماً با تجمع صفرا در سیتوپلاسم باکتری‌ها، تجمع پروتون نیز افزایش می‌یابد و زنده‌مانی برخی از میکروارگانیسم‌ها به قابلیت آنزیم ATPase غشاء که وظیفه انتقال پروتون از سیتوپلاسم به محیط خارج سلولی را دارد نسبت داده می‌شود. همچنین اکثر باکتری‌ها قادر به تحمل شرایط اسیدی نبوده و شرایط مذکور بیشترین آسیب را به آن‌ها

Lactobacillus paralimentarius و *L. plantarum* بیشترین اثر بازدارندگی را بر *S. typhimurium* و *B. cereus* داشتند.



شکل ۲- قطر هاله عدم رشد عوامل باکتریایی غذازاد در حضور جدایه لاکتیکی مورد مطالعه به روش انتشار در دیسک. حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ است.

خنثی شده جدایه لاکتیکی بر *B. cereus* بیشتر بود و هیچ اثر بازدارندگی بر *S. enterica* نشان نداد. همچنین پس از ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری، تأثیر بازدارندگی روماند خام جدایه لاکتیکی در مورد هر دو باکتری بیماری‌زا به شکل معنی‌داری از تأثیر روماند خنثی شده بیشتر بود.

Campana و همکاران (۲۰۱۷) روماند فاقد سلول ۷ باکتری اسید لاکتیک را در برابر عوامل بیماری‌زای غذازاد مورد آزمون قرار داده و گزارش کردند که بیشترین اثر بازدارندگی مربوط به *L. rhamnosus* در برابر *Campylobacter jejuni* بود. انحلال دیواره سلولی و تجزیه سلول از دلایل بروز خاصیت ضد میکروبی روماند فاقد سلول باکتری‌های اسید لاکتیک عنوان شده است. خنثی نمودن روماند فاقد سلول می‌تواند اثر بازدارندگی باکتری‌های اسید لاکتیک را کاهش داده و یا از بین ببرد. در چنین مواردی فعالیت ضد میکروبی روماند فاقد سلول را می‌توان به مشتق‌های اسیدی تولید شده و یا متابولیت‌های بازدارنده‌ای نسبت داد که در pH خنثی، غیرفعال می‌شوند. اگرچه روماند فاقد سلول می‌تواند شامل ترکیبات متعددی باشد، ولی زمانی که فعالیت ضد میکروبی با خنثی‌سازی کاهش یابد، اهمیت اثر اسیدهای آلی محرز می‌گردد. اسیدهای آلی می‌توانند در pH پایین به شکل تجزیه نشده از طریق غشاء وارد سلول باکتری‌های بیماری‌زا شده و در درون سلول بسته به pH تجزیه گردند. لذا یون‌های H^+ آزاد شده با اسیدی کردن سیتوپلاسم، موجب از بین رفتن شیب الکتروشیمیایی پروتون‌ها و در نهایت مرگ باکتری‌ها می‌شوند (Axelsson et al, 1989). علت اثر ضد میکروبی روماند فاقد سلول خام جدایه لاکتیکی مذکور بر روی

اثر ضد میکروبی باکتری‌های اسید لاکتیک به دلیل تولید ترکیباتی نظیر اتانول، اسید فرمیک، استون، پراکسید هیدروژن، دی استیل، رتوترین، روتوسایکلین و باکتریوسین است. همچنین از آنجا که خاصیت ضد میکروبی در pH پایین در بالاترین حد خود قرار دارد، حضور اسیدهای آلی خصوصاً اسید استیک و اسید لاکتیک و اثر متقابل آن‌ها با سایر ترکیبات بازدارنده از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (Russo et al, 2017). بسته به نوع باکتری اسید لاکتیک، نوع و مقدار متابولیت‌های تولیدی، نوع باکتری بیماری‌زا و جمعیت آن، شرایط گرمخانه‌گذاری و حتی اثر متقابل متابولیت‌های ضد میکروبی، اثر بازدارنده متفاوت خواهد بود. در اثر ضد میکروبی جدایه‌های لاکتیکی نیز مکانیسم‌های مختلفی از جمله الگوی فعالیت آنزیم، مهار رشد و تشکیل حفره در غشاء سلولی، مهار جایگاه‌های اتصال و محدود نمودن لانه‌گزینی میکروارگانیسم‌های ناخواسته در روده و همچنین جلوگیری از دسترسی آن‌ها به مواد مغذی مطرح شده است (Oliveira et al, 2015).

اثر ضد باکتریایی روماند فاقد سلول جدایه لاکتیکی

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بین خاصیت ضد باکتریایی روماند فاقد سلول خام و روماند فاقد سلول خنثی شده حاصل از کشت *E. hirae* بر روی باکتری‌های غذازاد، تفاوت معنی‌داری در سطح $P < 0.05$ مشاهده شد. روماند خام جدایه لاکتیکی، به شکل معنی‌داری تأثیر بازدارنده بیشتری بر کاهش *S. enterica* نسبت به *B. cereus* داشت. علاوه بر این، تأثیر بازدارندگی روماند

متابولیت‌های بسیار مهم در خاصیت ضدباکتریایی بوده و می‌توانند با جلوگیری از تشکیل دیواره سلولی و یا ایجاد حفره در آن موجب مرگ عوامل بیماری‌زا شوند. البته اثر این متابولیت‌ها با جذب از طریق اجزای غذا، تغییر حلالیت و یا توزیع غیریکنواخت در ماتریکس غذایی کاهش می‌یابد (Russo et al, 2017).

B. cereus نیز می‌تواند مربوط به اسیدهای آلی و یا سایر متابولیت‌های ضد میکروبی نظیر باکتریوسین‌ها باشد که در pHهای اسیدی، فعال هستند. در حالی که اثر ضد میکروبی رومانند مذکور بر روی *S. enterica* را می‌توان تنها به اسیدهای آلی نسبت داد زیرا با خنثی شدن رومانند فاقد سلول، هیچ‌گونه اثر بازدارندگی مشاهده نشد. باکتریوسین‌ها نیز از

جدول ۱- اثر بازدارنده رومانند فاقد سلول جدایه لاکتیکی (درصد کاهش جمعیت)		
رومانند فاقد سلول جدایه لاکتیکی (CFS)	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Salmonella enterica</i>
رومانند خام (Crude CFS)	۶۷/۳۶ ± . ^{bA}	۷۱/۰۹ ± ۰/۱۱ ^{Aa}
رومانند خنثی شده (Naturalized CFS)	۱۱/۲۸ ± ۰/۴۸ ^{aB}	± . ^{Bb}

حروف کوچک و بزرگ ناهمسان به ترتیب، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ردیف و ستون در سطح $P < 0.05$ می‌باشند.

معرفی شده است. علاوه بر این، باکتری‌هایی که دارای این ویژگی هستند نسبت به سایر باکتری‌ها زودتر از روده خارج می‌شوند (Collado et al, 2007).

مقاومت آنتی‌بیوتیکی جدایه لاکتیکی

بر اساس نتایج مقاومت آنتی‌بیوتیکی که در جدول ۲ نشان داده شده است، جدایه لاکتیکی نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های استرپتومایسین، نالیدیکسیک اسید، سیپروفلوکساسین، سفتریاکسون و ونکومایسین، مقاوم بوده و نسبت به سفازولین و آمپی‌سیلین دارای حساسیت نسبی و همچنین نسبت به پنی‌سیلین، ایمپینم و سفالوتین، حساس بود. بر اساس گزارش Rajoka و همکاران (۲۰۱۷) تمام باکتری‌های اسید لاکتیک مورد بررسی به استرپتومایسین، آمپی‌سیلین، جنتامایسین، کانامایسین، پنی‌سیلین، سفالوتوکسین و کیپروفلوکسازین، مقاوم و به آموکسی‌سیلین، حساس بودند. همچنین دو سویه نیز به تتراسیکلین و اریترومایسین، حساسیت نشان دادند. بر اساس نتایج Sadeghi و همکاران (۲۰۱۹)، *L. brevis* جدا شده از خمیرترش سبوس برنج به آمپی‌سیلین، نووابیوسین، سفیکسیم، سیپروفلوکساسین، جنتامایسین، کلیندامایسین، سفالکسین، سفتریاکسون و پنی‌سیلین، حساس بوده و در مقابل به ونکومایسین، استرپتومایسین و نالیدیکسیک اسید، مقاوم و به ایمپینم نیمه حساس بود. مکانیسم مقاومت به آنتی‌بیوتیک در باکتری‌های اسید لاکتیک به عواملی همچون ماهیت آنتی‌بیوتیک، محل هدف آن و نوع باکتری بستگی دارد و مشتمل بر فرایندهای مهار سنتز دیواره سلولی (مهم‌ترین مکانیسم)، مهار سنتز پروتئین و مهار فرآیند ترجمه (تتراسایکلین بیشتر از این طریق عمل می‌کند)، تغییر غشاء سلولی، مهار سنتز اسید نوکلئیک و فعالیت ضد متابولیسم است. این مکانیسم‌ها توسط پلاسمیدها و یا ژن‌های محافظت شده غیرقابل انتقال در کروموزوم هر سویه رمزگذاری می‌شوند. همانطور که گفته شد، مکانیسم اصلی مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها، تغییر نفوذپذیری سلول است اما مقاومت به برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها که مانع از سنتز

قابلیت خود اتصالی و دگر اتصالی جدایه لاکتیکی

میزان قابلیت خود اتصالی جدایه لاکتیکی معادل ۵۴/۷۱ درصد و میزان قابلیت دگر اتصالی آن با *E. coli* نیز معادل ۱۳/۱۴ درصد بود. Han و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که از میان ده باکتری اسید لاکتیک مورد بررسی، *L. brevis* بیشترین میزان خود اتصالی را از خود نشان داد. به نحوی که میزان خود اتصالی آن پس از ۴ ساعت گرمخانه‌گذاری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به حدود ۲۰ و پس از ۲۴ ساعت به ۸۰ درصد رسید. همچنین Campana و همکاران (۲۰۱۷) بیشترین میزان خود اتصالی را مربوط به *Bifidobacterium bifidum* (۲۱ درصد) و بیشترین میزان دگر اتصالی را در برابر *E. coli* به *L. rhamnosus* (۱۷ درصد) نسبت دادند. خاصیت خود اتصالی باکتری‌های پروبیوتیک از عوامل کلیدی جهت استقرار آن‌ها در دستگاه گوارش و همچنین مهار تکثیر عوامل بیماری‌زا می‌باشد. پروبیوتیک‌ها با اتصال به باکتری‌های هم نوع، موجب ایجاد یک پوشش زیستی بر روی سلول‌های روده‌ای، محافظت از دستگاه گوارش و سیستم ایمنی بدن میزبان و همچنین جلوگیری از ورود عوامل بیماری‌زا می‌شوند (Han et al, 2017). این خاصیت، تحت تأثیر شرایط محیطی و ناشی از تعاملات فیزیکی و شیمیایی پیچیده است. با این حال، عوامل اصلی موثر، شامل خاصیت آبگریزی سطحی سلول و ترکیبات سطح آن می‌باشد (García-Cayuela et al, 2014). پدیده دگر اتصالی، فاصله بین سلول‌های پروبیوتیک و عوامل بیماری‌زا را کاهش داده و موجب افزایش کارایی متابولیت‌های ضد میکروبی تولید شده توسط پروبیوتیک‌ها می‌شود. وجود آگزوپلی‌ساکاریدها نیز در بروز این خاصیت، موثر هستند چرا که می‌توانند در تشکیل بیوفیلم به‌عنوان یک عامل اتصالی، جهت ایجاد اثر متقابل بین کربوهیدرات، لکترین و پروتئین عمل کنند (Bernardeau et al, 2008). اگرچه عوامل بیماری‌زا به وجود اسیدهای آلی حساس هستند ولی توسط اجزاء ماده غذایی محصور شده و اثر آن‌ها در روده کاهش می‌یابد. از این رو خاصیت دگر اتصالی در مقایسه با اسیدهای آلی در حفاظت از میزبان در برابر عفونت‌ها موثرتر

گلیکوپپتیدی آنتی بیوتیک‌ها بوده و علیه اغلب باکتری‌های گرم مثبت فعال است. در چندین گونه باکتری اسید لاکتیک، جایگاه دی-آلنین با استفاده از دی-لاکتات یا دی-سرین در مورامیل پنتا پپتید جایگزین شده و بدین ترتیب مانع از اتصال ونکومایسین می‌شود (Sharma et al, 2016).

پروتئین‌هایی مانند آمینوگلیکوزیدها می‌شود، می‌تواند موجب عدم انتقال الکترون از سیتوکروم و تغییر در نفوذپذیری سلولی گردد. مهم‌ترین علت این مقاومت نیز اصلاح آنزیمی آنتی بیوتیک توسط ژن‌های کد کننده پلاسمیدی عنوان شده است (Abriouel et Sharma et al, 2016; al, 2015). همانطور که عنوان گردید جدایه لاکتیکی در پژوهش حاضر، نسبت به ونکومایسین نیز مقاوم بود. ونکومایسین، نمایانگر سطح

جدول ۲- مقاومت جدایه لاکتیکی مورد مطالعه نسبت به برخی از آنتی بیوتیک‌های مرسوم بر اساس آزمون انتشار در دیسک

آنتی بیوتیک (میکروگرم ماده موثر)	حساسیت	هاله عدم رشد (میلی متر)
استرپتومایسین (۱۰)	مقاوم	h
نالیدیکسیک اسید (۳۰)	مقاوم	h
سیپروفلوکساسین (۵)	مقاوم	h
ونکومایسین (۳۰)	مقاوم	g
پنی سیلین (۱۰)	حساس	c
آمپی سیلین (۱۰)	حساسیت نسبی	d
ایمپینم (۱۰)	حساس	e
سفازولین (۳۰)	حساسیت نسبی	b
سفترایکسون (۳۰)	مقاوم	f
سفالوتین (۳۰)	حساس	a

حروف متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) می‌باشد.

درصدی رشد قارچ و همچنین ممانعت از اسپورزایی (تغییر رنگ) آن گردید. بر اساس گزارش Demirbaş و همکاران (۲۰۱۷) در خصوص اثر ضدقارچی ۱۵ باکتری اسید لاکتیک جدا شده از خمیر ترش، مشخص شد که *L. plantarum* و *L. paraplantarum* بر *A. niger* و *P. chrysogenum* اثر مهارکنندگی قابل توجهی داشتند. تولید ترکیبات اسیدی می‌تواند موجب مهار رشد میکروبی شود و عمل ضدقارچی اسیدهای آلی (اسید لاکتیک، استیک، فرمیک، پروپیونیک و بوتیریک) نیز با عبور متابولیت‌های تجزیه نشده از غشای لیپیدی سلول و در نهایت از بین رفتن زیست‌پذیری قارچ اتفاق می‌افتد. متابولیت‌های دیگری نظیر دی‌اکسید کربن، اتانول، پراکسید هیدروژن، اسیدهای چرب، دی‌پپتیدهای حلقوی، ۴-هیدروکسی فنیل پروپانویک اسید، فنیل پروپانویک اسید و فنیل لاکتیک اسید و همچنین ترکیبات شبه باکتریوسینی از طریق اسیدی کردن محیط سلول، مهار گلیکولیز، افزایش یا تغییر نفوذپذیری غشاء قارچ، مهار زنجیره انتقال الکترون، اختلال در فسفریلاسیون، مهار فنیل آلانین دهیدروژناز و مهار سنتز اسپور قارچ، موجب بروز اثر ضدقارچی می‌شوند (Sadeghi et al, 2019; Oliveira et al, 2015).

قابلیت همولیز خون

جدایه لاکتیکی مورد مطالعه در این پژوهش، فاقد فعالیت همولیزی بود. در مطالعه Abushelaibi و همکاران (۲۰۱۷)، از بین ده سویه مورد مطالعه، یک مورد از نوع آلفا، دو مورد بتا و هفت مورد فاقد فعالیت همولیتیک (گاما) بودند. همچنین در مطالعه Ogunsakin و همکاران (۲۰۱۷)، بر روی چهار باکتری جدا شده از خمیر ترش سورگوم، سه مورد همولیز منفی و یک مورد مثبت بود. به طور کلی میکروارگانیسم‌ها دارای سه نوع فعالیت همولیزی شامل آلفا، بتا و گاما بوده و هاله‌های ایجاد شده به ترتیب دارای رنگ سبز، زرد کم‌رنگ و بی‌رنگ هستند. آلفا و بتا همولیز معمولاً مربوط به باکتری‌های بیماری‌زا است زیرا این میکروارگانیسم‌ها آنزیم‌هایی نظیر کوآگولاز تولید می‌کنند که توانایی تجزیه گلبول‌های قرمز را دارند.

اثر ضدقارچی جدایه لاکتیکی

در شکل ۲ اثر ضدقارچی *E. hirae* بر روی *A. niger* پس از گذشت چهار روز در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با کنترل (فاقد جدایه لاکتیکی و حاوی اسپور قارچ) نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز، جدایه لاکتیکی موجب کاهش ۴۷/۱۵



شکل ۲- اثر ضدقارچی جدایه لاکتیکی بر *A. niger* بعد از ۴ روز گرمخانه گذاری در مقایسه با نمونه کنترل در آزمون کشت دو لایه

نتیجه گیری

در مجموع و بر اساس نتایج پژوهش حاضر، قابلیت‌های پروبیوتیکی و اثر ضدقارچی جدایه *E. hirae* به عنوان باکتری اسید لاکتیک غالب جدا شده از خمیرترش کینوا مورد تایید قرار گرفت. روماند فاقد سلول حاصل از کشت این جدایه لاکتیکی نیز از اثرات بازدارنده مناسبی بر روی عوامل باکتریایی غذازاد برخوردار بود که امکان استفاده از آن را در صنایع غذایی و دارویی به عنوان یک نگهدارنده زیستی نشان می‌دهد.

قدردانی و تشکر

احتراما بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که بخشی از هزینه‌های اجرای این پژوهش را در قالب یک پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد، تامین نمودند صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع

- Abnous, K., Brooks, S.P., Kwan, J., Matias, F., Green-Johnson, J., Selinger, L.B., Thomas, M., & Kalmokoff, M. 2009. Diets enriched in oat bran or wheat bran temporally and differentially alter the composition of the fecal community of rats. *The Journal of Nutrition*, 139(11), 2024-2031.
- Abriouel, H., Muñoz, M.D.C.C., Lerma, L.L., Montoro, B.P., Bockelmann, W., Pichner, R., Kabisch, J., Cho, G.S., Charles Franz, M.A.P.Gálvez, A., & Benomar N. 2015. New insights in antibiotic resistance of *Lactobacillus* species from fermented foods. *Food Research International*, 78, 465-481.
- Abushelaibi, A., Al-Mahadin, S., El-Tarabily, K., Shah, N.P., & Ayyash, M. 2017. Characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from camel milk. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 316-325.
- Adisa, A.M., & Ifesan, B.O.T. 2016. Probiotic potential of lactic acid bacteria (lab) isolate from wholegrain millet sourdoughs. *Annals. Food Science and Technology*, 17(2), 458-468.
- Angmo, K., Kumari, A., & Bhalla, T.C. 2016. Probiotic characterization of lactic acid bacteria isolated from fermented foods and beverage of Ladakh. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 428-435.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis (18 ed). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Axel, C., Brosnan, B., Zannini, E., Peyer, L.C., Furey, A., Coffey, A., & Arendt, E.K. 2016. Antifungal activities of three different *Lactobacillus* species and their production of antifungal carboxylic acids in wheat sourdough. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(4), 1701-1711.
- Axel, C., Röcker, B., Brosnan, B., Zannini, E., Furey, A., Coffey, A., & Arendt, E.K. 2015. Application of *Lactobacillus amylovorus* DSM19280 in gluten-free sourdough bread to improve the microbial shelf life. *Food Microbiology*, 47, 36-44.
- Axelsson, L.T., Chung, T.C., Dobrogosz, W.J., & Lindgren, S.E. 1989. Production of a broad spectrum antimicrobial substance by *Lactobacillus reuteri*. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 2, 131-136.
- Bernardeau, M., Vernoux, J.P., Henri Dubernet, S., & Guegen, M. 2008. Safety assessment of dairy microorganisms: The *Lactobacillus* genus. *International Journal of Food Microbiology*, 126, 278-285.
- Campana, R., van Hemert, S., & Baffone, W. 2017. Strain-specific probiotic properties of lactic acid bacteria and their interference with human intestinal pathogens invasion. *Gut Pathogens*, 9(1), 12.
- Casarotti, S.N., Carneiro, B.M., & Penna, A.L.B. 2014. Evaluation of the effect of supplementing fermented milk with quinoa flour on probiotic activity. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6027-6035.
- Collado, M.C., Meriluoto, J., & Salminen, S. 2007. *In vitro* analysis of probiotic strain combinations to inhibit pathogen adhesion to human intestinal mucus. *Food Research International*, 40(5), 629-636.

- Delgado, S., O'sullivan, E., Fitzgerald, G., & Mayo, B. 2007. Subtractive screening for probiotic properties of *Lactobacillus* species from the human gastrointestinal tract in the search for new probiotics. *Journal of Food Science*, 72(8), M310-M315.
- Demirbaş, F., İspirli, H., Kurnaz, A.A., Yilmaz, M.T., & Dertli, E. 2017. Antimicrobial and functional properties of lactic acid bacteria isolated from sourdoughs. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 361-366.
- García-Cayuela, T., Korany, A.M., Bustos, I., de Cadiñanos, L.P.G., Requena, T., Peláez, C., & Martínez-Cuesta, M.C. 2014. Adhesion abilities of dairy *Lactobacillus plantarum* strains showing an aggregation phenotype. *Food Research International*, 57, 44-50.
- Han, Q., Kong, B., Chen, Q., Sun, F., & Zhang, H. 2017. *In vitro* comparison of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from Harbin dry sausages and selected probiotics. *Journal of Functional Foods*, 32, 391-400.
- Kunchala, R., Banerjee, R., Mazumdar, S.D., Durgalla, P., Srinivas, V., & Gopalakrishnan, S. 2016. Characterization of potential probiotic bacteria isolated from sorghum and pearl millet of the semi-arid tropics. *African Journal of Biotechnology*, 15(16), 613-621.
- Magnusson, J., Ström, K., Roos, S., Sjögren, J., & Schnürer, J. 2003. Broad and complex antifungal activity among environmental isolates of lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Letters*, 219(1), 129-135.
- Manini, F., Casiraghi, M.C., Poutanen, K., Brasca, M., Erba, D., & Plumed-Ferrer, C. 2016. Characterization of lactic acid bacteria isolated from wheat bran sourdough. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 275-283.
- Matejčeková, Z., Liptáková, D., & Valík, L. 2017. Functional probiotic products based on fermented buckwheat with *Lactobacillus rhamnosus*. *LWT-Food Science and Technology*, 81, 35-41.
- Ogunsakin, A.O., Vanajakshi, V., Anu-Appaiah, K.A., Vijayendra, S.V.N., Walde, S.G., Banwo, K., Sanni, A.I., & Prabhasankar, P. (2017). Evaluation of functionally important lactic acid bacteria and yeasts from Nigerian sorghum as starter cultures for gluten-free sourdough preparation. *LWT-Food Science and Technology*, 82, 326-334.
- Oliveira, P.M., Brosnan, B., Furey, A., Coffey, A., Zannini, E., & Arendt, E. K. 2015. Lactic acid bacteria bioprotection applied to the malting process. Part I: strain characterization and identification of antifungal compounds. *Food Control*, 51, 433-443.
- Rajoka, M.S.R., Mehwish, H.M., Siddiq, M., Haobin, Z., Zhu, J., Yan, L., Shao, D., Xu, X., & Shi, J. 2017. Identification, characterization, and probiotic potential of *Lactobacillus rhamnosus* isolated from human milk. *LWT-Food Science and Technology*, 84, 271-280.
- Reller, L.B., Weinstein, M., Jorgensen, J.H., & Ferraro, M.J. 2009. Antimicrobial susceptibility testing: a review of general principles and contemporary practices. *Clinical Infectious Diseases*, 49(11), 1749-1755.
- Rizzello, C.G., Lorusso, A., Montemurro, M., & Gobbetti, M. 2016. Use of sourdough made with quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutritional, textural and sensory features of white bread. *Food Microbiology*, 56, 1-13.
- Rajo-Bezares, B., Sáenz, Y., Poeta, P., Zarazaga, M., Ruiz-Larrea, F., & Torres, C. 2006. Assessment of antibiotic susceptibility within lactic acid bacteria strains isolated from wine. *International Journal of Food Microbiology*, 111(3), 234-240.
- Ruiz Rodríguez, L., Vera Pingitore, E., Rollan, G., Cocconcelli, P. S., Fontana, C., Saavedra, L., G. Vignolo & Hebert, E. M. 2016. Biodiversity and technological, functional potential of lactic acid bacteria isolated from spontaneously fermented quinoa sourdoughs. *Journal of Applied Microbiology*, 120(5), 1289-1301.
- Russo, P., Arena, M.P., Fiocco, D., Capozzi, V., Drider, D., & Spano, G. 2017. *Lactobacillus plantarum* with broad antifungal activity: A promising approach to increase safety and shelf-life of cereal-based products. *International Journal of Food Microbiology*, 247, 48-54.
- Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Raeisi, M., & Nematollahi, Z. 2019. Biological control of foodborne pathogens and aflatoxins by selected probiotic LAB isolated from rice bran sourdough. *Biological Control*, 130, 70-79.
- Saxelin, M., Tynkkynen, S., Mattila-Sandholm, T., & de Vos, W.M. 2005. Probiotic and other functional microbes: from markets to mechanisms. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(2), 204-211.
- Sharma, P., Tomar, S.K., Sangwan, V., Goswami, P., & Singh, R. 2016. Antibiotic resistance of *Lactobacillus* sp. isolated from commercial probiotic preparations. *Journal of Food Safety*, 36(1), 38-51.
- Shahrestani, F. F., Ebrahimi, M. T., Bayat, M., Hashemi, J., & Razavilar, V. 2019. Reduction of aflatoxin M1 by three acid-and bile-resistant antifungal probiotics vs. natamycin in milk. *Biomedical Research*, 30(1), 122-126.
- Zhang, Y., Zhang, L., Du, M., Yi, H., Guo, C., Tuo, Y., Han, X., Li, J., Zhang, L., & Yang, L. 2011. Antimicrobial activity against *Shigella sonnei* and probiotic properties of wild lactobacilli from fermented food. *Microbiological Research*, 167(1), 27-31.



Evaluation of probiotic and antifungal properties of predominant LAB isolated from quinoa sourdough

E. Rouhi¹, A. R. Sadeghi^{2*}, S. M. Jafari³, M. Abdolhoseini⁴, E. Asadpour⁵

Received: 2020.09.26

Accepted: 2020.11.11

Introduction: Evaluation of probiotic and antifungal properties of lactic acid bacteria (LAB) isolated from fermented substrates has great importance in order to provide microbial cultures for fermentation industries. Among the fermented foods, dairy products play the main role as carriers of probiotics. Meanwhile, non-dairy fermented foods have been rarely studied in order to isolation and characterization of their probiotic microorganisms. Sourdough as a mixture of flour and water is a proper fermented ecosystem to isolate probiotic and antifungal LAB. Besides their desired health, probiotics must become active in the consumer's gastrointestinal tract without any adverse effect. These bacteria can be used as starter, adjunct or preservative cultures to produce different fermented foods. Furthermore, antimicrobial metabolites of the LAB have also numerous potential applications as bio-preservatives in food and/or medical technologies.

Materials and methods: In the present study, after continuous back-slopping process, predominant LAB was isolated from fermented quinoa. Then the LAB isolate was identified using PCR amplification of its partial *16S rDNA* gene. Subsequently, probiotic properties of the LAB including its resistance to low pH and bile salt, antibacterial effects, aggregation potentials, antibiotic susceptibility and haemolytic activity were investigated. Antifungal effect of the LAB on *Aspergillus niger* was also determined using overlay bioassay. Finally, the one way analysis of variance (ANOVA) with the least significant difference (LSD) post hoc (at $P < 0.05$) was used to data analysis.

Results and discussion: Sequencing results of the PCR products led to the identification of *Enterococcus hirae* as predominant LAB isolated from quinoa sourdough. Sourdough fermentation depends on the several technological and environmental factors and therefore, different types of these complex stressful ecosystems have their specific microflora with unique properties. The LAB isolate had proper survival after continuous pH and bile treatments. Resistance to low pH and bile salt is not sufficient to predict the survival of the probiotics in the actual conditions of the gastrointestinal tract. However, these properties are necessary for assessment of viability and activity in this situation. Furthermore, the highest antibacterial activity of the LAB was observed against *Bacillus cereus* among the studied food borne indicator bacteria. The effect of crude cell free supernatant (CFS) obtained from LAB isolate on indicator bacteria was significantly ($P < 0.05$) higher than the naturalized CFS. The inhibitory effect of each LAB is different depending on many factors. In addition to the production of antimicrobial metabolites, probiotics affect pathogens through adhesion to binding sites and limitation of their colonization, as well as prevention from their access to the nutrients. Co-aggregation ability of the LAB was also 54.71%, the LAB had no haemolytic activity and it showed proper profile of antibiotic resistance. Aggregation ability generally leads to the binding of the probiotics to the gastrointestinal cells and it inhibits unwanted microorganisms growth. Haemolytic activities have been introduced for *in vitro* safety assessment of probiotics. Resistance to antibiotics is also controlled by specific biochemical mechanisms against each type of antibiotics. Probiotics as live microorganisms have beneficial effects on the host when consumed in sufficient numbers, and these capabilities are necessary for their activities. Antifungal effect of the LAB was also approved on *A. niger*. The bio-preservative activity of the LAB against fungi would be related to the type and amount of their produced inhibitory metabolites and the low pH. This inhibitory hurdle is also a key parameter to control of fungal spoilage in foodstuff. According to the results, predominant LAB isolated from quinoa sourdough had proper probiotic and antifungal properties. These capabilities are pivotal to select probiotic or protective starter cultures for fermentation technologies.

Keywords: Quinoa Sourdough, Predominant LAB Isolate, Back-Slopping Process, Probiotic, Protective Culture.

1, 2 and 3. MSc student, Assistant Professor, Professor, Department of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources.

4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources.

5. Assistant Professor, Department of Food Science & Technology, Baharan University, Gorgan, Iran.

(*Corresponding Author Email: Sadeghi.gau@gmail.com)

مقاله پژوهشی

بررسی اثر آنتی اکسیدانی عصاره گیاه چویل (*Ferulago angulata*) بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی چیپس سیب زمینی و روغن حاصل از آن طی زمان ماندگاری

عاطفه ایران خواه^۱ - لیلا ناطقی^{۲*} - سیمین اسداللهی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲

چکیده

امروزه برای کاهش اکسیداسیون روغن ها و مواد غذایی چرب و جلوگیری از کاهش ارزش تغذیه ای و خصوصیات حسی روغن های خوراکی از آنتی اکسیدان های سنتزی استفاده می شود. با توجه به عوارض نامطلوبی که مصرف آنتی اکسیدان های سنتزی دارند، استفاده از آنتی اکسیدان های طبیعی ضروری به نظر می رسد. عصاره چویل یک منبع طبیعی از آنتی اکسیدان است که علاوه بر افزایش عطر و طعم، به افزایش عمر نگهداری محصول کمک می کند. هدف این پژوهش بررسی اثر آنتی اکسیدانی عصاره گیاه چویل (*Ferulago angulata*) بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی چیپس سیب زمینی و روغن حاصل از آن طی زمان ماندگاری است. گیاه چویل از بازار محلی شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه خریداری شد و با استفاده از عمل خیساندن و حلال اتانول ۹۶ درصد و با دستگاه تقطیر استخراج گردید. ورقه های نازک سیب زمینی در روغن های حاوی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل و روغن حاوی ۱۰۰ ppm آنتی اکسیدان سنتتیک TBHQ در دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۹ دقیقه سرخ شدند. قدرت مهار رادیکال های آزاد DPPH، میزان ترکیبات فنلی کل و ارزیابی حسی بر چیپس سیب زمینی و آزمون های پراکسید، اسیدیته و تیوباریتوریک اسید روی روغن حاصل از سرخ کردن چیپس های سیب زمینی در طی زمان های ۱، ۱۵ و ۳۰ روز نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از عصاره گیاه چویل و افزایش غلظت آن باعث افزایش قدرت آنتی اکسیدانی در مهار رادیکال های آزاد DPPH و ترکیبات فنلی کل و کاهش میزان پراکسید، اسیدیته و تیوباریتوریک اسید گردید، به طوری که کمترین میزان عدد پراکسید، اسیدیته و تیوباریتوریک اسید و بیشترین میزان ترکیبات فنلی کل در تیمار حاوی ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل مشاهده گردید. نتایج نشان داد با استفاده از عصاره چویل تا غلظت ۲۰۰۰ ppm در روغن جهت سرخ کردن چیپس سیب زمینی امتیاز رنگ، بو، مزه و پذیرش کلی چیپس سیب زمینی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد استفاده از عصاره چویل در روغن ها، علاوه بر افزایش خواص ارگانولپتیکی در مواد غذایی می تواند خواص آنتی اکسیدانی مطلوب و قابل مقایسه با آنتی اکسیدان های سنتتیک مانند TBHQ در روغن ها نشان دهد.

واژه های کلیدی: عصاره گیاه چویل، چیپس سیب زمینی، اکسیداسیون چربی، آنتی اکسیدان

مقدمه

مهم ترین عوامل محدودکننده کیفی آن محسوب می شود. از این جهت اکسیداسیون به عنوان یکی از دلایل اصلی فساد شیمیایی چیپس مطرح است که نتیجه آن تندی، بد طعمی، افت کیفیت تغذیه ای، رنگ، بافت و سلامت چیپس است (Manral et al., 2008). بیشترین فرآیندهای تخریبی واکنش های اکسیداسیون تجزیه محصولات حاصل از اکسیداسیون هستند که باعث افت کاهش ارزش غذایی و افت کیفیت حسی می شوند. به تعویق انداختن این فرآیندهای اکسیداسیون برای تولیدکنندگان محصولات غذایی مهم و حیاتی است. یکی از روش های حفاظت در برابر اکسیداسیون، استفاده از افزودنی های خاصی است که از اکسیداسیون جلوگیری می کند که به آن ها بازدارنده های اکسیداسیونی یا آنتی اکسیدان گفته می شود. این بازدارنده ها موادی با ساختارهای شیمیایی مختلف و مکانیسم های فعالیت گوناگون هستند. مهم ترین و بیشترین مکانیسم

چیپس سیب زمینی یک میان وعده محبوب در بین تمامی گروه های سنی است که دلیل محبوبیت آن تغییراتی است که در خواص فیزیکی و حسی چیپس سیب زمینی طی فرآیند سرخ کردن رخ می دهد (Pedreschi et al., 2007). از آنجایی که در فرآیند سرخ کردن عمیق چیپس، میزان چربی از ۱/۰ درصد اولیه در سیب زمینی خام به ۴۰ درصد در چیپس آماده می رسد، ایجاد و توسعه بدطعمی و تندی در نتیجه اکسیداسیون روغن در طی نگهداری چیپس، یکی از

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجو کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین-پیشوا، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

(* - نویسنده مسئول: (Email: leylanateghi@yahoo.com

آن‌ها واکنش با رادیکال‌های آزاد به شکل غیرفعال کردن محصولات آن‌ها می‌باشد (Pokorny et al., 2001).

اکسایش چربی‌ها و روغن‌ها طی فراوری و نگهداری غذاها علاوه بر از دست رفتن کیفیت تغذیه‌ای غذا باعث تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود که این ترکیبات منجر به واکنش‌های نامطلوب شیمیایی و بیولوژیکی می‌شود (Ahmadi et al., 2007). رادیکال‌های آزاد، اتم‌ها یا مولکول‌هایی با الکترون جفت نشده هستند که قادر به وارد کردن آسیب به مولکول‌های زیستی بدن هستند و منجر به بروز بیماری‌های مختلف می‌شود. اثر زیان بار رادیکال‌های آزاد را می‌توان توسط مواد آنتی‌اکسیدانی کاهش داد (Thomas, 2000).

آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیبات شیمیایی هستند که با به تأخیر انداختن زمان شروع اکسایش لیپیدها پایداری اکسیداتیو آن‌ها را افزایش و مدت ماندگاری آن‌ها را طولانی‌تر می‌کنند. آنتی‌اکسیدان‌ها با مهار و یا ایجاد وقفه در فرآیند تشکیل و انتشار رادیکال‌های آزاد از اکسایش خودبخودی چربی‌ها ممانعت می‌کنند. آنتی‌اکسیدان‌ها برای اولین بار در جنگ جهانی دوم برای نگهداری غذاها استفاده شدند. آنتی‌اکسیدان‌های اولیه از مواد طبیعی به دست می‌آمدند ولی بعدها با انواع سنتزی جایگزین شدند. پس از مدتی افزایش استفاده از این آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی توسط مصرف‌کنندگان مورد اعتراض واقع شد و مصرف‌کنندگان خواستار جایگزین کردن این افزودنی‌های سنتزی با انواع طبیعی آن بودند (Pokorny et al., 2001). امروزه در صنعت از آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی برای به تأخیر انداختن اکسیداسیون چربی‌ها استفاده می‌شود اما به دلیل اثرات نامطلوب تغذیه‌ای و سرطان‌زا بودن این ترکیبات و نیز تمایل مصرف‌کنندگان به استفاده از ترکیبات طبیعی، استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مورد توجه محققین قرار گرفته است. یکی از بهترین منابع آنتی-اکسیدان‌های طبیعی، ترکیبات فنلی موجود در گیاهان است (Frankel, 1991).

گیاه چویل (*Ferulagu angulata*) یکی از گیاهان مهم دارویی ایران و از خانواده چتریان است. به علت داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی از این گیاه به عنوان نگهدارنده و افزودنی در غذا استفاده می‌شود (مظفریان، ۱۳۷۹). گیاه چویل دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی است و در سیستم‌های غذایی با باند کردن رادیکال‌های آزاد از اکسید شدن چربی‌ها جلوگیری می‌کنند. در بین آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در گیاهان، ترکیبات فنولی بیشتر از همه وجود دارند و به خاطر ویژگی‌های احیاکنندگی و ساختار خود نقش مهمی در به دام انداختن رادیکال‌های آزاد، فلزات واسطه و حذف اکسیژن یگانه دارند (Khanahmadi & Janfeshan, 2004; O'Brien, 2006; Masoumy, 1395). اثرات آنتی‌اکسیدانی اسانس گیاه چویل استخراج شده توسط ماکروویو را بر ماندگاری روغن کنجد بررسی کرد. نتایج نشان داد که همه غلظت‌های اسانس

چویل به طور معناداری قادر به کاهش سرعت اکسیداسیون روغن کنجد بود و با افزایش غلظت اسانس، فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز افزایش یافت. همچنین این اسانس قادر به کاهش میزان رادیکال‌های آزاد است و می‌تواند به عنوان منبع مناسبی از آنتی‌اکسیدان طبیعی در مواد غذایی استفاده شود. بهترین غلظت اسانس چویل برای حفظ روغن در برابر اکسیداسیون و حفظ طعم در غلظت ۰/۰۵ درصد بود. همتی (۱۳۹۶)، به بررسی مقایسه‌ای تأثیر روش‌های خشک کردن بر خصوصیات کمی و کیفی اسانس اندام هوایی گیاه چویل و ارزیابی تأثیر آن بر پایداری اکسایشی روغن سویا در شرایط انبارش تسریع شده پرداخت. نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین راندمان عصاره‌گیری و قدرت ضد اکسایشی مربوط به نمونه خشک شده به روش انجمادی است و همچنین اسانس گیاه چویل به دست آمده به روش خشک کردن انجمادی قابلیت رقابت با آنتی‌اکسیدان سنتزی TBHQ^۱ را دارد. صادقی و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر اسانس گیاه چویل را بر تثبیت روغن سویا در زمان ذخیره‌سازی بررسی کردند. شاخص فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان اسید چرب آزاد، عدد پراکسید و عدد آنیزیدین در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که اسانس چویل دارای خواص آنتی‌اکسیدانی قوی می‌باشد و می‌تواند به جای آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی مثل TBHQ استفاده شود. عزیزاده و همکاران (۲۰۱۹) اثرات توکروفرول، اسانس رزماری و عصاره چویل را بر پایداری اکسیداتیو سس مایونز در دوره نگهداری آن بررسی کرد. در اکسیداسیون اولیه، توکروفرول کارایی بیشتری نسبت به بقیه آنتی‌اکسیدان‌ها داشت ولی در اکسیداسیون ثانویه، کارایی توکروفرول مشابه آنتی‌اکسیدان‌های دیگر بود. بر اساس نتایج اسانس توکروفرول و رزماری می‌توانند جایگزینی برای آنتی‌اکسیدان سنتزی TBHQ باشد.

هدف از مطالعه حاضر، استفاده از عصاره گیاه چویل به عنوان جایگزینی برای آنتی‌اکسیدان‌های سنتتیک (TBHQ) متداول مورد استفاده در روغن به منظور کاهش و حذف مواد مصنوعی از محصولات غذایی و بالا بردن سطح سلامتی مصرف‌کنندگان با توجه به داشتن اثرات نامطلوب بسیاری از آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی بر سلامت مصرف‌کننده و ممنوع بودن استفاده از آن‌ها در اکثر کشورها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه عصاره گیاه چویل

گیاه چویل از بازار محلی شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه خریداری شد. سپس توسط هرباریوم گیاهان دارویی دانشکده داروسازی دانشگاه تهران نام علمی آن به عنوان Boiss

1 Tertiary butyl hydro quinone

سوپر اولتین، سویا و آفتابگردان) بدون آنتی‌اکسیدان در شیشه‌های تیره رنگ اضافه شد و یک نمونه روغن بدون آنتی‌اکسیدان تهیه شد.

تهیه نمونه‌های چیپس سیب زمینی

سیب زمینی‌های واریته آگریا که از وزارت جهاد کشاورزی کرج تهیه شده را شسته، پوست‌گیری کرده و سپس با استفاده از دستگاه اسلایسر به ورقه‌هایی به ضخامت ۱/۳ میلی‌متر برش داده شدند و تا زمان سرخ کردن در آب غوطه‌ور شدند. ورقه‌های سیب‌زمینی بعد از مرحله آبگیری بلافاصله به دستگاه سرخ کن حاوی انواع روغن‌ها منتقل شده و به مدت ۹ دقیقه در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. سپس ورقه‌های سرخ شده در دمای اتاق خنک شدند. روغن حاصل از سرخ کردن در آون ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس در زمان‌های ۱، ۱۵ و ۳۰ روز پس از نگهداری روغن حاصل از سرخ کردن در آون ۲۰ درجه سانتی‌گراد، آزمون‌های عدد اسیدی، عدد پراکسید و عدد تیوباریتوریک اسید بر روی روغن حاصل از سرخ کردن چیپس‌های سیب زمینی و آزمون‌های حسی و ترکیبات فنلی و DPPH بر روی چیپس سیب زمینی با سه تکرار انجام شد (صداقت بروجنی و همکاران، ۱۳۹۳).

Apiaceae Ferulago angulata (Schlecht) متعلق به خانواده تایید گردید. جهت عمل عصاره‌گیری از عمل خیساندن و حلال اتانول ۹۶ درصد استفاده شد. بدین منظور ۱۰۰ گرم از برگ پودر شده گیاه چویل به دقت توسط ترازوی دیجیتالی وزن شد. سپس جهت تهیه عصاره اتانولی به ارلن حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد اضافه گردید. ارلن به مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق روی دستگاه هم‌زن مغناطیسی با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه (rpm) قرار گرفت تا استخراج عصاره به‌طور کامل انجام گیرد. سپس مخلوط حلال و گیاه توسط کاغذ صافی از هم جدا شدند. سپس تفاله را فشرده تا کاملاً تخلیه شده و در نهایت عصاره اولیه به‌دست آمد. عصاره اولیه به مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) سانتریفیوژ شد. سپس عصاره حاصل وارد دستگاه تقطیر در خلاء (روتاری) شد و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حلال آن‌ها به مدت یک ساعت تبخیر و عصاره تغلیظ شده به‌دست آمد (طباطبائی یزدی و همکاران، ۱۳۹۳).

عصاره استخراج شده حاوی ۳/۷۵ میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم، فنل کل و % ۱/۷۶ IC₅₀ بود. عصاره گیاه چویل در غلظت‌های ۱۰۰۰ ppm، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ و آنتی‌اکسیدان سنتزی TBHQ با غلظت ۱۰۰ ppm به روغن سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های

جدول ۱- تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر

ردیف	تیمارها
۱	روغن سرخ‌کردنی بدون آنتی‌اکسیدان (شاهد)
۲	روغن سرخ‌کردنی بدون آنتی‌اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm عصاره چویل
۳	روغن سرخ‌کردنی بدون آنتی‌اکسیدان + ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل
۴	روغن سرخ‌کردنی بدون آنتی‌اکسیدان + ۳۰۰۰ ppm عصاره چویل
۵	روغن سرخ‌کردنی بدون آنتی‌اکسیدان + ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل
۶	روغن سرخ‌کردنی + ۱۰۰ ppm آنتی‌اکسیدان TBHQ

N: غلظت محلول تیوسولفات سدیم
V: تفاضل حجم محلول تیوسولفات مصرفی
W: وزن نمونه (بر حسب گرم)

اندازه‌گیری عدد اسیدیت

بدین منظور مقدار ۳ گرم از روغن توزین و سپس ۳۰ میلی‌لیتر اتانول - بنزن خنثی شده و ۲ میلی‌لیتر معرف فنل فتالین به آن افزوده شد. این ترکیب با محلول سود ۰/۱ N تا پیدایش رنگ صورتی کمرنگ تیترا شده و مقدار آن با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (استاندارد ملی ۴۱۷۸، ۱۳۹۵).

آزمون‌های انجام شده بر روغن حاصل از سرخ کردن

چیپس‌های سیب‌زمینی

اندازه‌گیری عدد پراکسید

بدین منظور، ۱ گرم از روغن در ۳۰ میلی‌لیتر از مخلوط اسید استیک ۹۶ درصد و کلروفرم محلول گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اشباع یدید پتاسیم به آن افزوده شد. ید آزاد شده با محلول تیوسولفات سدیم ۰/۱ M تیترا شد و قبل از رسیدن به نقطه پایانی تیتراسیون، حدود ۰/۵ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۰/۱ به آن افزوده و تیتراسیون تا محو شدن رنگ آبی ادامه یافت. عدد پراکسید با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (استاندارد ملی ۴۱۷۹، ۱۳۹۶).

$$(\text{mg/g}) = 28/2.N.V / W$$

(۲)

$$(\text{mEqO}_2/\text{kg}) = 1000.N.V / W$$

(۱)

N: نرمالیت سود مصرفی

V: حجم سود مصرفی (بر حسب میلی لیتر)

W: وزن نمونه روغن (بر حسب گرم)

اندازه گیری عدد تیوباریتوریک اسید

۱ گرم از روغن حاصل از سرخ کردن چپیس در ۱۰ میلی لیتر تتراکلریدکربن حل شد و به آن ۱۰ میلی لیتر محلول اسید تیوباریتوریک اضافه گردید، سپس به مدت ۵ دقیقه در سانتریفوژ با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد، قسمت آبکی آن جدا شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت و پس از آن میزان جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه گیری شد (مهران، ۱۳۵۵). اندیس اسید تیوباریتوریک بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد:

$$E = e \cdot d \cdot a \quad (3)$$

e: جذب نوری اندازه گیری شده

d: ضخامت سل نوری

a: وزن نمونه بر حسب گرم

آزمون های انجام شده بر چپیس سبب زمینی**آزمون DPPH^۱ (روش احیاء رادیکال آزاد)**

۵۰ گرم از نمونه های چپیس با ۲۵ میلی لیتر متانول به مدت ۱۲ ساعت قرار داده شد. سپس مخلوط با کاغذ صافی واتمن صاف شد و سپس ۳ میلی لیتر از آن به ۱/۲ میلی لیتر متانول و ۱/۵ میلی لیتر رادیکال پایدار دی فیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) اضافه شد. محلول حاصل در دمای اتاق به مدت ۹۰ دقیقه قرار داده شد و جذب آن در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری و از رابطه ۴ فاکتور بازدارندگی محاسبه گردید (Burits & Bucar, 2000).

$$I\% = (A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{blank}} \times 100 \quad (4)$$

 A_{blank} : جذب نمونه کنترل A_{sample} : جذب نمونه ی تست شده**اندازه گیری مقدار کل ترکیب های فنلی**

ابتدا از نمونه های چپیس عصاره گیری شد. بدین ترتیب که از ۰/۵ گرم از نمونه های چپیس توسط تکان دادن گردابی با ورتکس مکانیکی (IKE، آلمان) ۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۴ ساعت با ۵۰ میلی لیتر متانول عصاره گیری شد. عصاره متانولی توسط کاغذ واتمن فیلتر و صاف شد و مایع رویی مورد آزمایش قرار گرفت. سپس میزان

1 Diphenyl-picrylhydrazyl

ترکیبات فنلی نمونه ها توسط معرف فولین سیوکالتو تعیین شد. بدین ترتیب که ۰/۵ میلی لیتر از عصاره چپیس و ۰/۱ میلی لیتر معرف فولین سیوکالتو در دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. سپس ۲/۵ میلی لیتر سدیم کربنات اشباع اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس شدت جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر پس از یک ساعت نگهداری در تاریکی خوانده شد. جهت رسم منحنی استاندارد از اسیدگالیک استفاده شد. بدین منظور ابتدا محلول های پایه ای از اسیدگالیک آماده و غلظت های مختلف (۱۰ تا ۱۰۰ میکروگرم در میلی لیتر) تهیه و منحنی استاندارد بر مبنای جذب در برابر غلظت رسم گردید. میزان کل ترکیبات پلی فنلی موجود در عصاره بر حسب معادل اسیدگالیک و با استفاده از معادله به دست آمده از منحنی استاندارد محاسبه و نتایج بر حسب میلی گرم اسید گالیک در هر میلی لیتر عصاره بیان گردید (استاندارد ملی ۱۱۷، ۱۳۹۲).

$$T_p = A_2 \cdot C / A_1 \quad (5)$$

 T_p : غلظت پلی فنلی کل نمونه بر حسب میلی گرم در دسی لیتر

C: غلظت گالیک اسید استاندارد بر حسب میلی گرم در دسی لیتر

 A_1 : جذب گالیک اسید استاندارد A_2 : جذب نمونه مجهول**آزمون حسی**

آزمون حسی شامل ارزیابی ویژگی های بو، مزه و پذیرش کلی، با استفاده از روش هدونیک ۵ نقطه ای و توسط ۱۰ ارزیاب آموزش دیده و تخصصی در حوزه صنعت چپیس انجام شد. در این آزمون، امتیاز ۵ برای صفت بسیار خوب و امتیاز ۱ برای صفت بسیار ضعیف در نظر گرفته شد (دلوی و همکاران، ۱۳۹۱).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

به منظور بررسی و مقایسه میانگین داده ها از آنالیز واریانس یکطرفه آزمون دانکن با سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط نرم افزار مینی تب ۱۶ استفاده گردید.

نتایج و بحث**بررسی نتایج تغییرات پراکسید**

عدد پراکسید به عنوان شاخص محصولات اولیه اکسیداسیون که هیدروپراکسیدها هستند، شناخته شده اند و نشان دهنده مراحل اولیه تغییرات اکسیداتیو در ماده غذایی است. بنابراین شاخص مهمی در تعیین فساد در محصولات چرب محسوب می شود و غلظت پراکسیدها و هیدروپراکسیدها را طی دوره نگهداری اندازه گیری

قادر به کاهش عدد پراکسید نمونه بوده‌اند و سرعت اکسیداسیون را از نظر تشکیل هیدروپراکسیدها به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) کاهش دادند. همچنین مشخص شد اسانس چویل در سطح ۰/۰۷۵ درصد تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با نمونه شاهد و دیگر نمونه‌ها داشت و قدرت آنتی اکسیدانی بیشتری در پیشگیری از اکسیداسیون نوع اول و تشکیل هیدروپراکسیدها داشت (ماسوری، ۱۳۹۵). همتی (۱۳۹۶)، به بررسی تاثیر گیاه چویل بر پایداری اکسایشی روغن سویا در شرایط انبارش تسريع شده پرداخت. او گزارش کرد که تغییرات عدد پراکسید نمونه‌های روغن در تمامی دوره‌ها و تمامی نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) داشتند و بالاترین میزان پراکسید در نمونه شاهد بعد از گذشت ۲۴ روز نگهداری در شرایط تسريع شده مشاهده شد. علیزاده و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی که اثرات توکوفرول، اسانس رزماری و عصاره گیاه چویل را بر پایداری اکسیداتیو سس مایونز طی زمان ماندگاری را مقایسه کردند، گزارش کردند که روند افزایشی عدد پراکسید مربوط به افزایش اکسیداسیون در دوره ذخیره‌سازی است. همچنین مشخص شد که عصاره گیاه چویل دارای اثر مهارکنندگی بر مقدار پراکسید است.

می‌کند (Karakaya & Simsek, 2011). با توجه به نتایج جدول ۲ مشخص گردید که میزان پراکسید در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها افزایش پیدا کرده است. علت افزایش عدد پراکسید طی زمان نگهداری، می‌تواند مربوط به افزایش فساد اکسیداتیو باشد (عربستانی و همکاران، ۱۳۹۲). روند افزایش عدد پراکسید در تیمار حاوی آنتی اکسیدان سنتتیک و تیمارهای حاوی عصاره چویل با غلظت بالاتر، کندتر بود. افزودن عصاره چویل و افزایش غلظت آن باعث کاهش میزان پراکسید در نمونه‌های حاوی عصاره چویل گردیده است، به طوری که کمترین میزان پراکسید در روغن حاوی بالاترین میزان عصاره چویل (۴۰۰۰ ppm) مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با نمونه شاهد (روغن بدون آنتی اکسیدان) داشت. عصاره چویل در غلظت ۴۰۰۰ ppm در کاهش میزان پراکسید و اکسیداسیون روغن بهتر از آنتی اکسیدان سنتتیک TBHQ عمل کرد. علت کاهش عدد پراکسید با افزودن عصاره چویل و افزایش غلظت آن در روغن می‌تواند به دلیل تجزیه هیدروپراکسیدها و تولید کربونیل‌ها و ترکیبات فرار باشد. در پژوهشی که به بررسی اثرات آنتی اکسیدانی اسانس گیاه چویل استخراج شده توسط ماکروویو بر ماندگاری روغن کتجد پرداخته شد، نتایج نشان داد که تمامی غلظت‌های اسانس گیاه چویل

جدول ۲- بررسی تغییرات پراکسید روغن سرخ کردنی بدون آنتی اکسیدان حاوی غلظت‌های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی اکسیدان (شاهد)	۲/۸۶۶±۰/۱۱۵ ^{aC}	۴/۶۶±۰/۱۱۵ ^{aB}	۵/۱۳۳±۰/۱۱۵ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm عصاره چویل	۲/۶۶۶±۰/۱۱۵ ^{abB}	۳/۷۳۳±۰/۲۳۰ ^{abA}	۴/۰۶۶±۰/۱۱۵ ^{bA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل	۲/۴۶۶±۰/۱۱۵ ^{bcB}	۳/۴۶۶±۰/۱۱۵ ^{bcA}	۳/۶۰۰±۰/۲۰۰ ^{cA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۳۰۰۰ ppm عصاره چویل	۲/۲۶۶±۰/۱۱۵ ^{cdB}	۳/۲۶۶±۰/۱۱۵ ^{cdA}	۳/۰۶۶±۰/۱۱۵ ^{dA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل	۱/۸۰۰±۰/۰۰۰ ^{eB}	۲/۸۰۰±۰/۲۰۰ ^{eA}	۲/۸۰۰±۰/۲۰۰ ^{dA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm آنتی اکسیدان TBHQ	۲/۱۳۳±۰/۱۱۵ ^{dB}	۲/۹۳۳±۰/۱۱۵ ^{deA}	۲/۷۳۳±۰/۲۳۰ ^{dA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر سطر می‌باشد.

بررسی نتایج تغییرات اسیدیته

عدد اسیدی میلی گرم هیدروکسید پتاسیم یا سدیم مورد نیاز جهت خنثی کردن اسیدهای چرب آزاد موجود در نمونه است. عدد اسیدی مقیاسی از تعداد گروه‌های کربوکسیلیک اسید موجود در اسیدهای چرب می باشد و برای تعیین کمی اسیدیته یک ماده به کار می‌رود (صفری، ۱۳۸۹). با توجه به نتایج جدول ۳ مشخص گردید که میزان اسیدیته در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها افزایش پیدا کرده است. در نتیجه فساد هیدرولیتیکی و اکسیداسیون روغن در طی دوره نگهداری، مولکول تری‌آسیل‌گلیسرول به گلیسرول و اسیدهای چرب

آزاد تجزیه می‌شود و در نتیجه عدد اسیدی روغن افزایش می‌یابد (عربستانی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین در ادامه روند اکسیداسیون، با تبدیل اسیدهای چرب به کتون و آلدهیدها، عدد اسیدی در نمونه‌ها افزایش می‌یابد. افزودن عصاره چویل و افزایش غلظت آن باعث کاهش میزان عدد اسیدی در نمونه‌های حاوی عصاره چویل گردیده است، به طوری که کمترین میزان عدد اسیدی در نمونه حاوی بالاترین میزان عصاره چویل (۴۰۰۰ ppm) مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با نمونه شاهد (روغن بدون آنتی اکسیدان) داشت. عصاره چویل در غلظت ۴۰۰۰ ppm طی فرآیند

کمترین میزان اسیدیت در نمونه حاوی ۴۰۰ ppm عصاره چویل مشاهده شد. با توجه به عدد اسیدیت نمونه‌ها مشخص شد که نمونه حاوی اسانس گیاه چویل تفاوت معنی‌داری با نمونه حاوی آنتی‌اکسیدان TBHQ نداشت و با توجه به اثرات مثبت استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، استفاده از اسانس گیاه چویل به‌عنوان آنتی‌اکسیدان مناسب‌تر است (همتی، ۱۳۹۶). عزیزاده و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی که انجام دادند، گزارش کردند که افزودن عصاره چویل در سس مایونز، پایداری اکسیداتیو سس مایونز را در مقایسه با نمونه کنترل بهبود بخشید.

حرارتی بهتر از آنتی‌اکسیدان سنتتیک TBHQ در کنترل اکسایش عمل کرد. با افزودن عصاره چویل و افزایش غلظت آن در روغن می‌توانیم به حداقل مقدار اسید چرب آزاد در روغن پس از سرخ‌کردن چیپس دست یابیم که علت این امر را می‌توان به کم بودن میزان هیدرولیز در روغن‌ها در اثر افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها نسبت داد. صادقی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که افزودن اسانس گیاه چویل در روغن سویا برای تثبیت آن در زمان ذخیره‌سازی باعث کاهش اسیدیت و افزایش پایداری روغن گردید. در پژوهشی که به بررسی تاثیر گیاه چویل بر پایداری اکسایشی روغن سویا پرداخته شد، گزارش شد که بیشترین میزان اسیدیت در نمونه شاهد در روز ۲۴ نگهداری و

جدول ۳- بررسی تغییرات اسیدیت روغن سرخ کردنی بدون آنتی‌اکسیدان حاوی غلظت‌های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی‌اکسیدان (شاهد)	۰/۰۹۹±۰/۰۰۳ ^{aB}	۰/۱۱۴±۰/۰۰۳ ^{aA}	۰/۱۲۲±۰/۰۰۳ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm عصاره چویل	۰/۰۸۴±۰/۰۰۵ ^{bC}	۰/۱۰۵±۰/۰۰۳ ^{bB}	۰/۱۱۶±۰/۰۰۳ ^{abA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل	۰/۰۷۸±۰/۰۰۵ ^{bcC}	۰/۰۹۹±۰/۰۰۳ ^{bcB}	۰/۱۱۲±۰/۰۰۵ ^{bcA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۳۰۰۰ ppm عصاره چویل	۰/۰۷۵±۰/۰۰۳ ^{bcdC}	۰/۰۹۴±۰/۰۰۳ ^{cdB}	۰/۱۱۰±۰/۰۰۳ ^{bcdA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل	۰/۰۶۵±۰/۰۰۳ ^{dC}	۰/۰۸۸±۰/۰۰۳ ^{dB}	۰/۱۰۵±۰/۰۰۳ ^{cdA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۱۰۰ ppm آنتی‌اکسیدان TBHQ	۰/۰۷۱±۰/۰۰۳ ^{cdC}	۰/۰۸۸±۰/۰۰۳ ^{dB}	۰/۱۰۴±۰/۰۰۳ ^{dA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر ستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر سطر می‌باشد.

بررسی نتایج تغییرات تیوباریتوریک اسید

عدد پراکسید به‌تنهایی مشخص‌کننده اکسیداسیون روغن نمی‌باشد، لذا عدد تیوباریتوریک‌اسید نیز اندازه‌گیری می‌شود. برای تشخیص و اندازه‌گیری محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون مانند آلدهیدها و کتون‌ها، آزمایش تیوباریتوریک‌اسید انجام می‌شود. عدد تیوباریتوریک‌اسید، مقدار مالون دی‌آلدهید موجود در ۱۰۰۰ گرم چربی است. در این آزمون میزان آلدهیدها در نتیجه واکنش تیوباریتوریک‌اسید با مالون دی‌آلدهید مشخص می‌شود (Guillen- & Guzman-chozas, 2006).

با توجه به نتایج جدول ۴ مشخص گردید که عدد تیوباریتوریک‌اسید در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها افزایش پیدا کرده است. تجزیه محصولات اولیه اکسیداسیون (هیدروپراکسیدها) به محصولات ثانویه (آلدهیدها و کتون‌ها) باعث افزایش مالون دی‌آلدهید و افزایش شاخص تیوباریتوریک‌اسید در طی زمان نگهداری می‌شود (عیوفی و همکاران، ۱۳۸۸). افزودن عصاره چویل و افزایش غلظت آن باعث کاهش عدد تیوباریتوریک‌اسید در نمونه‌های حاوی عصاره چویل گردیده است، به طوری که کمترین عدد تیوباریتوریک‌اسید در نمونه حاوی بالاترین میزان عصاره چویل (۴۰۰۰ ppm) مشاهده گردید که

اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0/05$) با نمونه شاهد (روغن بدون آنتی‌اکسیدان) داشت. عصاره چویل در غلظت ۴۰۰۰ ppm در مهار اکسایش و تشکیل مالون آلدهید بهتر از آنتی‌اکسیدان سنتتیک TBHQ عمل کرد. علت کاهش عدد تیوباریتوریک‌اسید با افزودن عصاره چویل و افزایش غلظت آن در روغن می‌تواند مربوط به وجود ترکیبات فنلی در عصاره چویل و داشتن فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها باشد. در پژوهشی اثرات آنتی‌اکسیدانی اسانس گیاه چویل بر ماندگاری روغن کتجد مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که اسانس گیاه چویل در تمامی غلظت‌ها قادر به کاهش عدد تیوباریتوریک‌اسید به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0/05$) شد و سرعت تشکیل ترکیبات ثانویه اکسیداسیون را کاهش دادند. اسانس چویل در سطح غلظت ۰/۰۷۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0/05$) با غلظت‌های دیگر از این اسانس بوده و از آن‌ها قوی‌تر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اسانس گیاه چویل می‌تواند به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان موثر در پیشگیری از تشکیل محصولات ثانویه اکسیداسیون به‌کار گرفته شود. نتایج حاصل شده با نتایج پژوهشگران دیگر مشابَهت داشت (ماسوری، ۱۳۹۵).

جدول ۴- بررسی تغییرات تیوباربتوریک اسید روغن سرخ کردنی بدون آنتی اکسیدان حاوی غلظت های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی اکسیدان (شاهد)	۲/۷۸±۰/۰۰۷ ^{aC}	۳/۰۴۷±۰/۰۱۴ ^{aB}	۳/۱۸۱±۰/۰۰۷ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm عصاره چویل	۲/۶۷۴±۰/۰۰۴ ^{bC}	۲/۸۵۲±۰/۰۱۱ ^{bB}	۲/۹۹۳±۰/۰۰۸ ^{bA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل	۲/۴۹۴±۰/۰۰۴ ^{cC}	۲/۶۶۲±۰/۰۱۴ ^{cB}	۲/۸۷۹±۰/۰۰۴ ^{cA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۳۰۰۰ ppm عصاره چویل	۲/۳۶۰±۰/۰۰۴ ^{dC}	۲/۵۷۵±۰/۰۰۸ ^{dB}	۲/۷۴۶±۰/۰۰۴ ^{dA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل	۱/۸۷۸±۰/۰۰۴ ^{fC}	۲/۳۸۷±۰/۰۰۷ ^{eB}	۲/۵۲۸±۰/۰۱۴ ^{eA}
۱۰۰ TBHQ آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm روغن بدون آنتی اکسیدان	۲/۳۳۳±۰/۰۰۴ ^{eC}	۲/۳۸۵±۰/۰۰۴ ^{eB}	۲/۴۸۴±۰/۰۱۲ ^{fA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی دار در هرستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی دار در هر سطر می باشد.

بررسی نتایج تغییرات DPPH

استفاده از رادیکال پایدار DPPH، روشی ارزان، سریع و آسان برای اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات مختلف است. با جذب مولی رادیکال DPPH در طول موج ۵۱۷ نانومتر، الکترون غیریونی

رادیکال DPPH با یک اتم هیدروژن در آنتی اکسیدان واکنش داده و رنگ محلول برحسب شدت مهار رادیکال، از بنفش به زرد تغییر می یابد.

جدول ۵- بررسی تغییرات DPPH روغن سرخ کردنی بدون آنتی اکسیدان حاوی غلظت های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی اکسیدان (شاهد)	۱۳/۱۲۸±۰/۰۷۸ ^{aB}	۱۳/۸۳۲±۰/۱۵۴ ^{aB}	۱۶/۴۰۹±۱/۴۳۶ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm عصاره چویل	۱۲/۹۵۳±۰/۰۸۰ ^{abB}	۱۳/۵۴۰±۰/۰۰۷ ^{abB}	۱۵/۹۲۵±۱/۱۸۴ ^{abA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل	۱۲/۷۵۵±۰/۱۱۰ ^{abB}	۱۳/۵۷۴±۰/۲۱۷ ^{abB}	۱۵/۳۵۶±۰/۹۱۴ ^{abA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۳۰۰۰ ppm عصاره چویل	۱۲/۴۴۶±۰/۲۸۸ ^{bcB}	۱۳/۳۴۵±۰/۲۹۵ ^{abB}	۱۴/۹۳۰±۰/۷۷۶ ^{bA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل	۱۲/۰۱۰±۰/۲۵۳ ^{cdC}	۱۳/۱۷۲±۰/۳۵۷ ^{abB}	۱۴/۵۸۹±۰/۷۷۸ ^{bA}
۱۰۰ ppm آنتی اکسیدان TBHQ + ۱۰۰۰ ppm روغن بدون آنتی اکسیدان	۱۱/۳۵۶±۰/۴۱۴ ^{dC}	۱۲/۸۵۹±۰/۴۸۹ ^{bB}	۱۳/۹۸۹±۰/۴۴۲ ^{bA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی دار در هرستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی دار در هر سطر می باشد.

با توجه به نتایج جدول ۵ مشخص گردید که میزان DPPH طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها افزایش پیدا کرده است. پایین ترین میزان DPPH در تیمار حاوی آنتی اکسیدان TBHQ مشاهده گردید که از نظر آماری اختلاف معنی داری ($p \leq 0.05$) با نمونه شاهد (روغن بدون آنتی اکسیدان) داشت. آنتی اکسیدان سنتتیک TBHQ با غلظت ۱۰۰ ppm فعالیت مهارکنندگی رادیکال بهتری نسبت به عصاره چویل در تمام غلظت ها داشت اما عصاره چویل در غلظت ۴۰۰۰ ppm قادر به رقابت با آنتی اکسیدان TBHQ بود. فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره ها وابسته به غلظت هستند به طوری که با افزایش غلظت عصاره چویل و افزایش ترکیبات فنلی و فلاوونوئیدی، به دلیل افزایش گروه های هیدروکسیل، احتمال اهدای هیدروژن به رادیکال آزاد و قدرت مهارکنندگی عصاره افزایش یافت.

فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره چویل احتمالاً به دلیل حضور ترکیبات فنلی می باشد که با داشتن ویژگی های احیاء کنندگی، باعث به دام انداختن رادیکال های آزاد، فلزات واسطه و حذف اکسیژن یگانه می شود (Khanahmadi & Janfeshan, 2006). Peng wong و همکاران (۲۰۰۶) فعالیت های آنتی اکسیدانی عصاره آبی گیاه چویل را بررسی کردند. آن ها گزارش کردند که گیاه چویل یک منبع غنی از آنتی اکسیدان شامل فنل ها و کاروتنوئیدها می باشد و توانایی بسیار بالایی برای حذف رادیکال های آزاد DPPH را دارد. Sharififar و همکاران (۲۰۰۷) اثر آنتی اکسیدانی اسانس و عصاره متانولی گیاه آویشن شیرازی را بررسی کردند و بر اساس این پژوهش مشخص گردید که قدرت آنتی اکسیدانی این گیاه به دلیل وجود ترکیباتی چون بتا- فلاندرن، آلفا- فلاندرن و تیمول بود. نتایج تحقیق حاضر با نتایج

این تحقیقات مشابهت داشت. Mollaei و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به استخراج اسانس چویل توسط ماکروویو و به کمک تقطیر پرداختند، نتایج نشان داد که اسانس به دست آمده توسط ماکروویو و با کمک تقطیر، کمترین میزان IC_{50} را دارد و این اسانس موثرتر از اسانس به دست آمده به روش تقطیر، در برابر دفع رادیکال آزاد DPPH است. اسانس استخراج شده توسط ماکروویو و با کمک تقطیر، دارای فعالیت آنتی اکسیدانی بالاتری نسبت به روش تقطیر بود که عمدتاً ناشی از عملکرد ترکیبات فنلی در این اسانس می باشد.

بررسی نتایج تغییرات فنل کل

ترکیبات فنلی (فلاونوئیدها، فنولیک اسیدها و آنتوسیانین ها و ...) که به عنوان آنتی اکسیدان های آبدوست شناخته شده اند، متابولیت های ثانویه ای هستند که در گیاهان به وفور وجود دارند. این ترکیبات با داشتن یک یا چند گروه هیدروکسیل قادر به خنثی کردن رادیکال های آزاد می باشد. ترکیبات فنلی از طریق اهداء الکترون به رادیکال های آزاد، واکنش های اکسایش چربی را مهار می کنند (Ahmadi et al., 2007). با توجه به نتایج جدول ۶ مشخص گردید که میزان فنل کل در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها کاهش پیدا کرده است. افزودن عصاره چویل و افزایش غلظت آن باعث افزایش میزان ترکیبات فنلی در نمونه های حاوی عصاره چویل گردیده است،

به طوری که بیشترین میزان ترکیبات فنلی در نمونه حاوی بالاترین میزان عصاره چویل (۴۰۰۰ ppm) مشاهده گردید که اختلاف معنی داری ($p \leq 0.05$) با نمونه شاهد (روغن بدون آنتی اکسیدان) داشت. عصاره چویل در غلظت ۴۰۰۰ ppm در مقایسه با آنتی اکسیدان TBHQ، ترکیبات فنلی بیشتری را دارا بود و در نتیجه فعالیت آنتی اکسیدانی بیشتری نسبت به TBHQ داشت. علت افزایش میزان ترکیبات فنلی با افزودن عصاره چویل و افزایش غلظت آن در روغن می تواند مربوط به حضور ترکیبات فنلی و کاروتنوئیدی در عصاره چویل باشد (همتی، ۱۳۹۶). ترکیبات فنلی دارای حلقه های آروماتیک دارای گروه های هیدروکسیل می باشند که با تشکیل رادیکال فنوکسیل می توانند رادیکال آزاد را خنثی کنند (Dudonne et al., 2009). Mollaei و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی که انجام دادند، گزارش کردند که محتوای فنل کل به دست آمده از اسانس چویل توسط استخراج با ماکروویو و به کمک تقطیر، بیشتر از اسانس به دست آمده با روش تقطیر است. این نتایج بیانگر این بود که روش استخراج اسانس با ماکروویو و به کمک تقطیر می تواند غلظت بالاتری از ترکیبات فنلی را در مقایسه با روش استخراج با تقطیر، باز یابی کند.

جدول ۶- بررسی تغییرات فنل کل روغن سرخ کردنی بدون آنتی اکسیدان حاوی غلظت های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی اکسیدان (شاهد)	۴/۳۸۱±۰/۳۸۰ ^{dA}	۴/۰۴۷±۰/۷۱۴ ^{cA}	۳/۱۹۰±۰/۱۹۰ ^{cA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm عصاره چویل	۵/۷۱۴±۰/۳۸۱ ^{cA}	۵/۲۸۵±۰/۶۱۹ ^{bcA}	۴/۴۲۸±۰/۰۹۵ ^{bcA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل	۶/۳۳۳±۰/۳۳۳ ^{bcA}	۵/۸۰۹±۰/۴۷۶ ^{abA}	۴/۹۵۲±۰/۰۹۵ ^{abA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۳۰۰۰ ppm عصاره چویل	۶/۸۵۷±۰/۱۹۰ ^{aA}	۶/۳۳۳±۰/۳۳۳ ^{abA}	۵/۹۰۴±۰/۵۷۱ ^{abA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل	۷/۳۸۱±۰/۰۴۷ ^{aA}	۶/۸۵۷±۰/۱۹۰ ^{aAB}	۶/۷۶۱±۰/۰۹۵ ^{abB}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰ ppm آنتی اکسیدان TBHQ	۷/۲۸۵±۰/۰۴۷ ^{aA}	۶/۸۵۷±۰/۱۹۰ ^{aB}	۶/۴۲۸±۰/۴۲۸ ^{aB}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی دار در هر ستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی دار در هر سطر می باشد.

بررسی نتایج تغییرات ارزیابی حسی

تغییرات بافت چپیس سرخ شده

با توجه به نتایج جدول ۷ مشخص گردید که امتیاز بافت چپیس سرخ شده طی ۳۰ روز نگهداری تغییر معنی داری پیدا نکرد ($p > 0.05$) و امتیاز بافت بین تیمارها هم اثر معنی داری نداشت ($p > 0.05$). به طوری که بین تیمار شاهد (روغن بدون آنتی اکسیدان) با سایر تیمارها در طی ۳۰ روز نگهداری اختلاف معنی داری مشاهده نشد ($p > 0.05$).

تغییرات رنگ چپیس سرخ شده

با توجه به نتایج جدول ۸ مشخص گردید که امتیاز رنگ چپیس در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها کاهش پیدا کرده است. کاهش امتیاز رنگ چپیس به علت رنگ نسبتاً تیره تر که ناشی از ترکیبات عصاره چویل و ملانوئیدین های تیره رنگ حاصل از واکنش مایلارد است، می باشد. افزودن عصاره چویل در غلظت های پایین تر باعث افزایش امتیاز رنگ چپیس در نمونه های حاوی عصاره چویل گردیده است، به طوری که بیشترین امتیاز رنگ در تیمار شاهد و

بررسی اثرات افزودن عصاره گلرنگ در جلوگیری از اکسیداسیون چپیس سیب‌زمینی پرداختند، گزارش کردند که اثر افزودن عصاره گلرنگ و غلظت آن بر رنگ نمونه‌های چپیس در ارزیابی حسی معنی‌دار ($p > 0.05$) بوده است. به نحوی که در تمامی تیمارها با افزایش غلظت عصاره گلرنگ، امتیاز رنگ افزایش یافت و باعث بهبود رنگ زرد چپیس سیب‌زمینی شد.

تیمارهای حاوی ppm ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ عصاره چویل مشاهده گردید. در پژوهشی فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس برگ مورد بر خواص فیزیکوشیمیایی چپیس سیب‌زمینی بررسی شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای حاوی اسانس مورد، قهوه‌ای شدن حداکثر بوده است که علت آن شرکت ترکیبات احیاء‌کننده مانند محصولات حاصل از اکسیداسیون چربی‌ها (آلدهیدها) در واکنش قهوه‌ای شدن بود که در اثر این واکنش، ترکیبات رنگین به وجود آمده است (صداقت بروجنی و همکاران، ۱۳۹۳). جانی و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی که به

جدول ۷- بررسی تغییرات امتیاز خواص بافت چپیس سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی بدون آنتی‌اکسیدان حاوی غلظت‌های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی‌اکسیدان (شاهد)	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۱۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۲۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۳۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۴۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۱۰۰ ppm آنتی‌اکسیدان TBHQ	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرسطر می‌باشد.

جدول ۸- بررسی تغییرات امتیاز رنگ چپیس سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی بدون آنتی‌اکسیدان حاوی غلظت‌های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی‌اکسیدان (شاهد)	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۳/۲۵۵±۰/۱۹۰ ^{cB}	۳/۱۱۵±۰/۲۳۳ ^{cB}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۱۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۲۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۳۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۴/۸۹۰±۰/۰۹۹ ^{aA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۴۰۰۰ppm عصاره چویل	۴/۱۵۵±۰/۱۰۶ ^{bA}	۴/۰۸۰±۰/۱۴۱ ^{bA}	۳/۹۷۵±۰/۱۳۴ ^{bA}
روغن بدون آنتی‌اکسیدان + ۱۰۰ ppm آنتی‌اکسیدان TBHQ	۳/۵۸۵±۰/۱۹۰ ^{cA}	۳/۳۳۵±۰/۲۶۱ ^{cA}	۳/۲۶۵±۰/۲۰۵ ^{cA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر سطر می‌باشد.

تغییرات بو چپیس سرخ‌شده

با توجه به نتایج جدول ۹ مشخص گردید که امتیاز بو چپیس در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها کاهش پیدا کرده است. افزودن عصاره چویل در غلظت‌های پایین‌تر باعث افزایش امتیاز بو چپیس در نمونه‌های حاوی عصاره چویل گردیده است، به‌طوری که بیشترین امتیاز بو در تیمار شاهد و تیمارهای حاوی ppm ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ عصاره چویل مشاهده گردید. جانی و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی که به بررسی اثرات افزودن عصاره گلرنگ در جلوگیری از

اکسیداسیون چپیس سیب زمینی پرداختند، گزارش کردند که طی مدت زمان نگهداری، از امتیاز بو طی ارزیابی حسی نمونه‌ها کاسته شد و یا در مواردی ثابت باقی ماند. همچنین اثر روش افزودن عصاره گلرنگ در نمونه‌ها بر شاخص بو معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود. با افزودن عصاره گلرنگ به نمونه‌های چپیس سیب‌زمینی، به دلیل توانایی آنتی‌اکسیدانی رنگدانه‌های آن، مانع از بروز فساد در روغن نمونه‌ها و جلوگیری از ایجاد بوی تند (رنسیدیتی) در چپیس شد.

جدول ۹- بررسی تغییرات امتیاز بو چپیس سرخ شده در روغن سرخ کردنی بدون آنتی اکسیدان حاوی غلظت‌های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی اکسیدان (شاهد)	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۳/۷۰۰±۰/۲۲۶ ^{cB}	۳/۱۹۵±۰/۰۷۷ ^{cB}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۳۰۰۰ ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۴/۹۳۰±۰/۰۹۹ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل	۴/۷۱۵±۰/۲۰۵ ^{aA}	۴/۵۹۰±۰/۲۹۷ ^{abA}	۴/۵۵۵±۰/۲۸۹ ^{abA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰ ppm آنتی اکسیدان TBHQ	۴/۲۲۰±۰/۱۸۳ ^{baA}	۴/۰۷۵±۰/۲۴۷ ^{bcA}	۴/۰۲۰±۰/۲۵۴ ^{baA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر سطر می‌باشد.

تغییرات مزه چپیس سرخ شده

با توجه به نتایج جدول ۱۰ مشخص گردید که امتیاز مزه چپیس در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها کاهش پیدا کرده است. با افزایش زمان نگهداری، مقاومت به اکسیداسیون کاهش و مقدار ترکیبات با عوامل کربونیل و طعم‌های تلخ و تند در روغن افزایش یافت. افزودن عصاره چویل در غلظت‌های پایین‌تر باعث افزایش امتیاز مزه چپیس در نمونه‌های حاوی عصاره چویل گردیده است، به طوری که بیشترین امتیاز مزه در تیمار شاهد و تیمارهای حاوی ۱۰۰۰ ppm، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ عصاره چویل مشاهده گردید. در طی فرآیند سرخ کردن و با افزایش زمان، رتبه ارزیابی حسی برای تمامی تیمارها کاهش می‌یابد. علت این امر پیشروی اکسیداسیون و تشکیل

مواد مولد طعم نامطلوب است که بر ویژگی‌های حسی محصول اثر منفی دارد. رتبه ارزیابی حسی در تیمار دارای عصاره چویل با غلظت بالا به علت طعم نسبتاً تلخ متعلق به اثر ترکیبات خود عصاره بر ویژگی‌های حسی بود (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). روستا (۱۳۹۰)، در تحقیقی که خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی گیاه چویل را بر استارترهای دوغ مورد بررسی قرار داد، گزارش کرد که مزه نمونه دوغ حاوی ۲ گرم در لیتر چویل بیشتر از سایر نمونه‌ها مورد پسند ارزیابان حسی قرار گرفت. درواقع خواص عطر و طعم‌دهندگی گیاه کاملاً قابل توجه بوده به طوری که غلظت‌های کم گیاه چویل توانسته مورد پسند واقع شود.

جدول ۱۰- بررسی تغییرات مزه روغن سرخ کردنی بدون آنتی اکسیدان حاوی غلظت‌های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی اکسیدان (شاهد)	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۴/۲۰۰±۰/۱۱۳ ^{bB}	۳/۳۸۰±۰/۲۲۶ ^{cC}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۳۰۰۰ ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۴/۹۵۰±۰/۰۷۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل	۴/۲۲۵±۰/۱۴۸ ^{baA}	۴/۱۸۵±۰/۲۳۳ ^{baA}	۴/۱۵۰±۰/۱۸۳ ^{baA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰ ppm آنتی اکسیدان TBHQ	۳/۷۲۵±۰/۲۰۵ ^{caA}	۳/۶۱۵±۰/۱۹۰ ^{caA}	۳/۵۲۰±۰/۱۵۵ ^{caA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر سطر می‌باشد.

تغییرات پذیرش کلی چپیس سرخ شده

با توجه به نتایج جدول ۱۱ مشخص گردید که امتیاز پذیرش کلی چپیس در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها کاهش پیدا کرده است. افزودن عصاره چویل در غلظت‌های پایین‌تر باعث افزایش امتیاز پذیرش کلی چپیس در نمونه‌های حاوی عصاره چویل گردیده است، به طوری که بیشترین امتیاز پذیرش کلی در تیمار شاهد و تیمارهای

حاوی ۱۰۰۰ ppm، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ عصاره چویل مشاهده گردید. ماسوری (۱۳۹۵) در پژوهشی اثرات آنتی‌اکسیدانی اسانس گیاه چویل بر ماندگاری روغن کنجد را مورد بررسی قرار داد و گزارش کرد که امتیاز پذیرش کلی تیمار حاوی ۰/۰۷۵ درصد اسانس چویل دارای اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0/05$) با تیمارهای دیگر و تیمار شاهد بود و پذیرش کلی روغن تا حدودی تحت تاثیر قرار گرفت. همچنین

آنتی اکسیدانی عصاره پوسته بادام زمینی در چپس سیب زمینی به دست آوردند، نشان دادند که در ارزیابی حسی، نمونه های حاوی عصاره پوسته بادام زمینی از نظر پذیرش کلی امتیاز بالاتری نسبت به تیمار شاهد کسب کردند.

گزارش کرد که همه نمونه ها بعد از ۱۶ روز نگهداری به لحاظ پذیرش کلی، کاهش کیفیت داشتند بطوریکه بعد از ۱۶ روز نگهداری، نمونه حاوی ۰/۰۵ درصد اسانس دارای بیشترین امتیاز پذیرش کلی بود. Rehman و همکاران (۲۰۰۳) طبق نتایجی که از بررسی خاصیت

جدول ۱۱- بررسی تغییرات امتیاز پذیرش کلی چپس سرخ شده در روغن سرخ کردنی بدون آنتی اکسیدان حاوی غلظت های مختلف عصاره چویل و مقایسه آن با نمونه شاهد طی ۳۰ روز نگهداری

نمونه	روز ۱	روز ۱۵	روز ۳۰
روغن بدون آنتی اکسیدان (شاهد)	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۳/۹۹۰±۰/۲۵۴ ^{bB}	۳/۰۶۰±۰/۱۵۵ ^{dc}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۲۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۳۰۰۰ppm عصاره چویل	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۵/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^{aA}	۴/۹۴۰±۰/۰۸۴ ^{aA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۴۰۰۰ppm عصاره چویل	۴/۴۱۵±۰/۲۴۷ ^{abA}	۴/۲۶۰±۰/۱۶۹ ^{bA}	۴/۱۶۰±۰/۱۶۹ ^{bA}
روغن بدون آنتی اکسیدان + ۱۰۰ ppm آنتی اکسیدان TBHQ	۳/۹۶۵±۰/۲۶۱ ^{bA}	۳/۷۰۵±۰/۲۱۹ ^{bA}	۳/۶۲۵±۰/۱۶۲ ^{cA}

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی دار در هرستون و حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی دار در هر سطر می باشد.

نتیجه گیری

با افزایش عصاره چویل تا ۲۰۰۰ ppm در روغن مصرفی برای سرخ کردن کردن چپس امتیاز ارزیابی حسی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. نتایج نشان داد چپس سرخ شده در روغن حاوی ۲۰۰۰ ppm عصاره چویل به عنوان تیمار بهینه از نظر بالاترین امتیاز ارزیابی حسی انتخاب شد. نتایج نشان داد عصاره گیاه چویل می تواند جایگزین مناسبی برای آنتی اکسیدان های سنتزی در روغن های سرخ کردنی برای تاخیر در اکسایش، روغن سرخ کردنی باشد بطوریکه علاوه بر خواص آنتی اکسیدانی می تواند باعث ایجاد خواص حسی مطلوب در مواد غذایی که در آن سرخ می شوند، گردد و خطر ناشی از مصرف آنتی اکسیدان های سنتزی در این مواد غذایی را کاهش دهد.

این پژوهش با هدف بررسی اثر آنتی اکسیدانی عصاره گیاه چویل بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی چپس سیب زمینی و روغن حاصل از آن طی زمان ماندگاری انجام شد. مطابق با نتایج حاصله، بالاترین و پایین ترین میزان اسیدیت، پراکسید و تیوباریتوریک اسید به ترتیب به تیمار شاهد (روغن بدون آنتی اکسیدان) و تیمار حاوی ۴۰۰۰ ppm عصاره چویل تعلق گرفت. بررسی ترکیبات فنلی نشان داد که با استفاده از عصاره گیاه چویل و افزایش غلظت آن، خواص آنتی اکسیدانی افزایش یافته و بالاترین خاصیت آنتی اکسیدانی متعلق به تیمار حاوی عصاره چویل با غلظت ۴۰۰۰ ppm بود که حاوی ترکیبات فنلی بالاتری بوده است. نتایج ارزیابی حسی نشان داد

منابع

- سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲. آرمیوه لیموترش - ویژگی ها. استاندارد ملی شماره ۱۱۷
- سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۵. اندازه گیری عدد اسیدی و اسیدیت. استاندارد ملی شماره ۴۱۷۸
- سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۶. روغن ها و چربی های خوراکی - اندازه گیری مقدار پراکسید به روش یدومتری - تعیین نقطه پایانی به روش چشمی. استاندارد ملی شماره ۴۱۷۹
- دلوی، م.، دارایی، ت.، آقاجانی، ن.، دانش پور، گ.، حسینیان، م. و محمدی، ن. ۱۳۹۱. تاثیر بلانچینگ و خیساندن در محلول های اسمزی بر جذب روغن و ارزیابی حسی چپس سیب زمینی تولیدی. علوم غذایی و تغذیه سال نهم، شماره ۴، ۶۷-۶۷
- صداقت بروجنی، ل.، حجت الاسلامی، م.، کرامت، ج.، قاسمی پیربلوطی، ع. ۱۳۹۳. مقایسه فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس برگ مورد (Myrtus communis) و آنتی اکسیدان های سنتزی بر خواص فیزیکوشیمیایی چپس سیب زمینی و روغن حاصل از آن طی زمان ماندگاری. نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی، جلد ۴، شماره ۴، ۶۷-۶۷
- صفری، م. ۱۳۸۹. تکنولوژی روغن و چربی های خوراکی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران

- طباطبائی یزدی، ف.، علیزاده بهبهانی، ب.، حیدری سورشجانی، م. ۱۳۹۳. مقایسه اثر ضد میکروبی عصاره گیاه چویل (*Ferulago angulata*) با انواع آنتی بیوتیکهای رایج درمانی در شرایط آزمایشگاهی. مجله دانشگاه علوم پزشکی اراک، جلد ۱۷، شماره ۳، ۴۶-۳۵.
- عربستانی، ا.، کدیور، م.، شاهدی، م.، گلی، ا. ۱۳۹۲. بررسی برخی خصوصیات ساختاری و فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم پروتئینی دانه گاو دانه و تاثیر آن بر شاخص های اکسیداسیون روغن آفتابگردان، فصلنامه علوم و فناوری های نوین غذایی، دوره اول، شماره ۲، ۱۴-۳.
- عیوقی، ف.، برزگر، م.، سحری، م.، نقدی بادی، ح. ۱۳۸۸. بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس شوید (*Anethum graveolens*) در روغن سویا و مقایسه آن با آنتی اکسیدان های شیمیایی. فصلنامه گیاهان دارویی، سال هشتم، دوره دوم، شماره مسلسل سی ام، ۸۳-۷۱.
- ماسوری، ب. ۱۳۹۵. اثرات آنتی اکسیدانی اسانس گیاه چویل استخراج شده به روش ماکروویو بر ماندگاری روغن کنجد. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس.
- مظفریان، و. ۱۳۷۹. رده بندی گیاهی، تهران: انتشارات امیر کبیر.
- مهران، م. ۱۳۵۵. آزمایش روغن. تالیف واکس. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- همتی، ع. ۱۳۹۶. بررسی مقایسه ای تاثیر روش های خشک کردن بر خصوصیات کمی و کیفی اسانس اندام هوایی گیاه چویل و ارزیابی تاثیر آن بر پایداری اکسایشی روغن سویا در شرایط انبارش تسریع شده. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه زنجان.
- Alizadeh, L., Abdolmaleki, K., Nayebyzadeh, K., Shahin, R. 2019. Effects of tocopherol, rosemary essential oil and *Ferulago angulata* extract on oxidative stability of mayonnaise during its shelf life: A comparative study. *Food Chemistry*, 285, 46-52.
- Ahmadi, F., Kadivar, M., Shahedi, M. 2007. Antioxidant activity of kelussia odoratissima moza, in model and food systems. *Food Chemistry*, 105, 57-64.
- Burits, M., Bucar, F. 2000. Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*, 14, 323-328.
- Dudonne, S., Vitrac, X., Coutiere, P., Woillez, M., Merillon, J. 2009. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1768-1774.
- Frankel, E. N. 1991. Recent advances in lipid oxidation. A review, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54, 495 - 511.
- Guillen-Sans, R., Guzman-Chozas, M. 2006. The thiobarbituric acid (TBA) reaction in foods. *Critical review of food science and nutrition*, 38, 315-330.
- Karakaya, S., Simsek, S. 2011. Changes in total polar compounds, peroxide value, total phenols and antioxidant activity of various oils used in deep fat frying. *Journal of the American Oil Chemists society*, 88(9), 1361-1366.
- Khanahmadi, M., Janfeshan, K. 2006. Study on antioxidation property of *Ferulago angulata* plant. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(3), 521-526.
- Manral, M., Pandey, M.C., Jayathilkan, K., Radhakrishna, K., Bawa, A.s. 2008. Effect of fish (*Catla catla*) frying on the quality characteristics of sunflower oil. *Food Chemistry*, 106(2), 634-639.
- Mollaei, S., Sedighi, F., Habibi, B., Hazrati, S., Asgharian, P. 2019. Extraction of essential oils of *Ferulago angulata* with microwave-assisted hydrodistillation. *Industrial crops and products*, 43-51.
- O'Brien, R. D. 2004. Fats and oils: Formulating and processing for applications, *CRC Press*
- Pedreschi, F., Moyano, P., Santis, N., Pedreschi, R. 2007. Physical properties of pre-treated potato chips. *Journal of food engineering*, 79: 1474-1482.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. 2001. Antioxidants in food practical applications, Cambridge: woodhead publishing Ltd.
- Sadeghi, E., Mahtabani, A., Etminan, A., Karami, F. 2016. Stabilization of soybean oil during accelerated storage by essential oil of *ferulago angulata* boiss. *Journl of food science and technology*, 53(2): 1199-1204.
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J., Saura-Calixto, F. 1997. Free radical scavenging capacity and inhibition of lipid oxidation of wines, grape juices and related polyphenolic constituents. *Food research international*, 32, 407-412.
- Thomas, M. J. 2000. The role of free radicals antioxidants. *American Journal of clinical Nutrition*, 16, 716-7240.



Evaluation of antioxidant effect of *Ferulago angulata* extract on physicochemical and sensory properties of potato chips and its oil during the shelf life

A. Irankhah¹, L. Nateghi^{*2}, S. Asadollahi³

Accepted: 2020.09.26

Received: 2020.11.11

Introduction: Currently, synthetic antioxidants are used to reduce the oxidation of oils and fatty foods and to prevent the reduction of the nutritional value and sensory properties of edible oils. Due to the adverse effects of synthetic antioxidants, the use of natural antioxidants seems essential. *Ferulago angulata* extract is a natural source of antioxidants that, in addition to enhancing flavor, help extend the shelf life of the product. The aim of this study was to investigate the antioxidant effect of *Ferulago angulata* extract on the physicochemical and sensory characteristics of potato-chips and the resulting oil during shelf life. *Ferulago angulata* plant was purchased from the local market of Sarpol-e-Zahab city in Kermanshah province and was extracted using 96% ethanol soaking and solvent by distillation machine. The thin sheets of potatoes were fried in oils containing 1000, 2000, 3000 and 4000 ppm of chamomile extract and the oil containing 100 ppm of synthetic antioxidant TBHQ at 190°C for 9 minutes. The ability to inhibit DPPH free radicals, total phenolic compounds, and sensory evaluation on potato chips and peroxide, acidity, and thiobarbituric acid tests on oil from frying potato chips over time 1, 15 and 30 days of storage were evaluated. The results showed that the use of *Ferulago angulata* extract increased antioxidant power in inhibiting DPPH free radicals and total phenolic compounds and reduced the amount of peroxide, acidity and thiobarbituric acid, so that the lowest amount of peroxide, acidity. And thiobarbituric acid and the highest amount of total phenolic compounds related to treatment containing 4000 ppm of *Ferulago angulata* extract. A treatment containing 4000 ppm of chamomile extract has the highest resistance to oxidative spoilage and can be compared to synthetic antioxidant TBHQ. The results of this study showed that using *Ferulago angulata* extract with a concentration of 2000 ppm, a potato chips with desirable organoleptic properties can be obtained and used as a suitable alternative to synthetic antioxidants such as TBHQ in food and oil oxidation.

Materials and Methods: *Ferulago angulata* plant was purchased from the local market of Sarpol-e Zahab city in Kermanshah province. Then, by Herbarium of Medicinal Plants, Faculty of Pharmacy, University of Tehran, its scientific name was confirmed as Boiss (Schlecht) *Ferulago angulata*, belonging to the Apiaceae family. 96% ethanol soaking and solvent were used for extraction. For this purpose, 100 grams of powdered leaves of *Ferulago angulata* plant were carefully weighed by a digital scale balance. Then, to prepare ethanolic extract, 500 ml of 96% ethanol was added to the Erlenmeyer flask. For 72 hours, the flask was placed at room temperature on a 1500 rpm magnetic shaker to fully extract the *Ferulago angulata* t. The solvent mixture and the plant were then separated by filter paper. Then squeeze the pulp until it is completely emptied and finally the initial extract is obtained. The initial extract was centrifuged for 10 min at 3000 rpm. The resulting extract was then poured into a vacuum distiller (rotary) and heated to 80 °C for one hour to evaporate the solvent from the extract. The concentrated extract contained 4.0623 mg of gallic acid per gram, total phenol and IC₅₀. *Ferulago angulata* extract in concentrations of 1000, 2000, 3000 and 4000 ppm and TBHQ synthetic antioxidant with a concentration of 100 ppm in frying oil (a mixture of super olein, soybean and sunflower oils) without antioxidants in dark color glass was added and a sample of oil without antioxidants was prepared. Variegated potatoes are washed, peeled and then cut into thin slices using a slicer and immersed in water until fried. Immediately after the dewatering, the potato slices were transferred to a frying pan containing a variety of oils and fried for 9 minutes at 190 °C. The fried sheets were then cooled to room temperature. The frying oil was kept in a 20 °C oven. Then, at 1, 15 and 30 days after storage of frying oil in a 20 °C oven, t the acid number, peroxide and thiobarbituric acid on the oil from frying the potato chips were determined. Sensory and phenolic compounds and DPPH were performed on potato chips. Data analysis was performed using Minitab-16 software and ANOVA.

Results and Discussion: The aim of this research was to investigate the antioxidant effect of *Ferulago angulata* extract on the physicochemical and sensory properties of potato chips and the resulting oil during its shelf life. According to the results, the highest and lowest levels of acidity, peroxide and thiobarbituric acid were assigned to the control treatment (synthetic anti-oxidant oil) and the treatment containing 4000 ppm of *Ferulago angulata* extract, respectively. Examination of phenolic compounds showed that by using *Ferulago angulata* extract and increasing its

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)

concentration, antioxidant properties increased and the highest antioxidant property was belonged to the treatment containing 4000 ppm of *Ferulago angulata* extract, which contained higher phenolic compounds. The results of sensory evaluation showed that the highest score of sensory properties was given to the control treatment and treatments containing 1000 and 2000 ppm of *Ferulago angulata* extract. As can be seen, antioxidant properties and polyphenolic compounds had the opposite effect on sensory scores. The fried chips in oil containing 2000 ppm of *Ferulago angulata* extract were selected as the optimal treatment in terms of the highest score of sensory evaluation. The results showed that the extract of *Ferulago angulata* plant could be a good alternative to synthetic antioxidants in frying oils to delay the oxidation of frying oil, and in addition to its antioxidant properties, it can create desirable sensory properties in fried foods and reduce the risk of consuming these foods.

Keywords: *Ferulago angulata* extract, potato chips, Oxidation of fat, Antioxidant

Contents

Evaluation of the effect of cheese powder and ultrasonic wave on physicochemical and sensory properties of gluten-free oil cake	435
B. Sahraian, F. Pourhaji, B. Alizadeh Behbahani	
Optimization of the interaction of whey protein concentrate-cress seed gum using response surface methodology (RSM) and investigating the foaming properties of the optimal sample	448
Z. Kholoosi, M. Mazaheri Tehrani, S. M. A. Razavi	
Production of sugar-free doughnut by replacing sugar with dietary sweeteners of stevia, erythritol and maltodextrin	472
H. Sabbaghi	
Separation the Impurities from Descurainia Seed using Electrostatic Method in a Fluid Bed (Tribo-airo-electrostatic)	483
M. Afsharipour, H. Samimi Akhijahani, K. Jafari Naeimi	
Comparison of technological characteristics of native starter isolates from traditional Khorasan yogurts with commercial starter in yogurt production	500
F. Barmak, M. B. Habibi Najafi, R. H. Farimani, M. R. Edalatian	
The effect of Aloe Vera gel and whey protein concentrate on the physicochemical properties of fried chicken fillet	515
Kh. S. Tabatabae, M. Fazel	
Study on the effect of Konjac hydrocolloid on physicochemical and textural properties of surimi produced from Talang Queenfish (<i>Scomberoides commersonnianus</i>) and Lizardfish (<i>Saurida tumbil</i>)	532
D. Jafarpour, P. Ataei	
Assessment of antimicrobial and viability of <i>Lactobacillus plantarum</i> LZ95 under acidic and bile conditions	541
E. Isvand Heydari, H. Jooyandeh, M. Hojjati, B. Alizadeh Behbahani, M. Noshad	
Evaluation the physical properties of Vicia Villosa seed and Study the effect of defatting and pH on the physicochemical and functional properties of its flour	557
B. Shokrollahi Yancheshmeh, M. A. Hesarinejad, Z. Zamani, N. Yousefi, A. Abdolshahi, A. Jebelli Javan	
The effect of enrichment with silver carp (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>) protein powder on amino acid profile, proximate analysis and sensory characteristic of biscuit	568
E. Aminpour Daphchahi, E. Zakipour Rahimabadi, H. Rostamzad, E. Nejat Pirsaraii	
Combined effect of controlled fermented oat and jujube powder on texture and antioxidant activity of the produced wheat bread	580
A F. Hajinia, A. R. Sadeghi, A. R. Sadeghi Mahoonak, M. Khomeiri, Y. Maghsoudlou, A. Moayedi	
Investigating the qualitative, textural and sensory characteristics of low fat Iranian white cheese containing a mixture of basil seed gum with xanthan or guar	593
S. Naji-Tabasi, E. Mahdian, A. Arianfar, Sara Naji-Tabasi	
Investigation of wild sage seed mucilage drying process (<i>Salvia macrosiphon</i> L.) with infrared radiation	604
Gh. Amini, F. Salehi, M. Rasouli	
Optimization of antioxidant properties of sour orange seed coat extract using microwave-assisted extraction	618
M. T. Golmakani, Gh. R. Mesbahi, N. Alavi, A. Hosseinzade Farbudi	
Effect of oat flour and pumpkin powder on nutritional value, staling and organoleptic properties of chocolate cake	630
S. Damirchi, M. Salehifar	
Metagenomic analysis of the microbial community in an Iranian local cheese	645
N. Davati, S. Bahrami	
Evaluation of probiotic and antifungal properties of predominant LAB isolated from quinoa sourdough	657
E. Rouhi, A. R. Sadeghi, S. M. Jafari, M. Abdolhoseini, E. Asadpour	
Evaluation of antioxidant effect of <i>Ferulago angulata</i> extract on physicochemical and sensory properties of potato chips and its oil during the shelf life	672
A. Irankhah, L. Nateghi, S. Asadollahi	

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 17

No. 4

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.

Contents

Evaluation of the effect of cheese powder and ultrasonic wave on physicochemical and sensory properties of gluten-free oil cake.....	435
B. Sahraiyani, F. Pourhaji, B. Alizadeh Behbahani	
Optimization of the interaction of whey protein concentrate-cress seed gum using response surface methodology (RSM) and investigating the foaming properties of the optimal sample.....	448
Z. Kholoosi, M. Mazaheri Tehrani, S. M. A. Razavi	
Production of sugar-free doughnut by replacing sugar with dietary sweeteners of stevia, erythritol and maltodextrin.....	472
H. Sabbaghi	
Separation the Impurities from Descurainia Seed using Electrostatic Method in a Fluid Bed (Tribo-airo-electrostatic).....	472
M. Afsharipour, H. Samimi Akhijahani, K. Jafari Naeimi	
Comparison of technological characteristics of native starter isolates from traditional Khorasan yogurts with commercial starter in yogurt production.....	500
F. Barmak, M. B. Habibi Najafi, R. H. Farimani, M. R. Edalatian	
The effect of Aloe Vera gel and whey protein concentrate on the physicochemical properties of fried chicken fillet.....	515
Kh. S. Tabatabae, M. Fazel	
Study on the effect of Konjac hydrocolloid on physicochemical and textural properties of surimi produced from Talang Queenfish (<i>Scomberoides commersonianus</i>) and Lizardfish (<i>Saurida tumbil</i>).....	532
D. Jafarpour, P. Ataei	
Assessment of antimicrobial and viability of <i>Lactobacillus plantarum</i> LZ95 under acidic and bile conditions.....	541
E. Isvand Heydari, H. Jooyandeh, M. Hojjati, B. Alizadeh Behbahani, M. Noshad	
Evaluation the physical properties of Vicia Villosa seed and Study the effect of defatting and pH on the physicochemical and functional properties of its flour.....	557
B. Shokrollahi Yancheshmeh, M. A. Hesarinejad, Z. Zamani, N. Yousefi, A. Abdolshahi, A. Jebelli Javan	
The effect of enrichment with silver carp (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>) protein powder on amino acid profile, proximate analysis and sensory characteristic of biscuit.....	568
E. Aminpour Daphchahi, E. Zakipour Rahimabadi, H. Rostamzad, E. Nejat Pirsaraii	
Combined effect of controlled fermented oat and jujube powder on texture and antioxidant activity of the produced wheat bread.....	580
A F. Hajinia, A. R. Sadeghi, A. R. Sadeghi Mahoonak, M. Khomeiri, Y. Maghsoudlou, A. Moayedi	
Continue Content in cover	