



نشریه علمی پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران



شماره ۵ جلد ۱۶
سال ۱۳۹۹

نشریه علمی پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران

جلد ۱۶

شماره ۵

سال ۱۳۹۹

۲۰۲۰

No.5

Vol.16

Iranian Food Science and Technology Research Journal

شاپا: ۴۱۶۱-۱۷۳۵

شماره پیاپی ۶۴

عنوان مقالات

- ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زالزالک (*Crataegus pinnatifida*) طی نگهداری در شرایط مختلف و مدل‌سازی تغییرات با مدل‌های سینتیکی ۵۰۷
محسن زندی - علی گنجلو - ماندانا بی‌مکر
- تولید شکلات حبابدار و استفاده از مقطع‌نگاری اشعه X و پردازش تصویر در بررسی ویژگی‌های حباب‌ها ۵۲۵
مسیح سرفرازی - محبت محبی - مهدی سعادت‌مند طرزجان - علی میرشاهی
- ارزیابی عملکرد خاک رنگبر حاوی مقادیر افزایش یافته اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن سویا ۵۴۱
بهاره خلیق - مریم قراچورلو - پیمان قاسمی افشار
- تأثیر جایگزینی آرد گندم با مشتقات پروتئینی سویا بر افزایش فعالیت بازدارندگی آنزیم مبدل آنژیوتنژین پپتیدهای زیست فعال خمیر ۵۵۵
رضا باتقوا - معصومه مهربان سنگ آتش - احمد احتیاطی
- بهینه‌سازی استخراج و اصلاح ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پروتئین و فیبر باقلا توسط اولتراسوند و هیدرولیز آنزیمی ۵۶۹
محیا اورجی - مزدک علیمی - علی معتمدزادگان - شیرین شکوهی
- تأثیر پوشش خوراکی حاوی کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای ۵۸۱
مهیار راد - حامد غفوری - زهره غلامی
- بررسی کیفیت کیک بدون گلوتن تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده به روش حرارتی - رطوبتی ۶۰۷
مهران اعلمی - بهاره فتحی
- تأثیر گرمایش اهمیک بر سرعت انجماد زدایی و خصوصیات ماهی تن منجمد ۶۲۱
مریم کشانی - نفیسه زمین‌دار - رضا حاجیان
- بررسی اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا و تغییر اندازه ذرات آرد سوخاری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ناگت مرغ ۶۲۹
مریم سادات ستوده - نفیسه سلطانی زاده
- اسانس پونه: ترکیبات شیمیایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و اثر سایتوتوکسیک آن بر رده سلولی HT29 ۶۴۳
هادی تناور - حسن برزگر - بهروز علیزاده بهبهانی - محمد امین مهرنیا
- توسعه مدل پیشگو به منظور تعیین سفتی میوه "به" به کمک برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی در خلال انبارمانی ۶۵۵
شیمیا نصیری - سامان آبدانان مهدی‌زاده - مختار حیدری
- اثر آنتی‌اکسیدانی سلنیت سدیم میکروکپسوله شده به روش تبخیر حلال، در روغن سویا در طول مدت یکسال نگهداری ۶۶۹
فروزان جلالی زند - محمد گلی

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

دی - بهمن ۱۳۹۹

شماره ۵

جلد ۱۶

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

دکتر ناصر شاهنوشی

استاد، اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

دکتر فریده طباطبایی

استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

سر دبیر:

اعضای هیئت تحریریه:

استاد، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر سید علی مرتضوی

استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر فخری شهیدی

استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمداقرباب حبیبی نجفی

دانشیار، میکروبیولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دکتر مرتضی خمیری

استاد، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر سید محمد علی رضوی

استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر رضا فرحوش

استاد، میکروبیولوژی، دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد

دکتر بی بی صدیقه فضلای بزاز

استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دکتر مهدی کاشانی نژاد

استاد، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر آرش کوچکی

استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محبت محبی

استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه تبریز

دکتر بابک قنبرزاده

استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف

دکتر ایران عالمزاده

دانشیار، نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

دکتر قدیر رجبزاده اوغاز

دانشیار، زیست مولکولی، دانشکده پزشکی هاروارد

دکتر مهیار حیدرپور

دانشیار، میکروبیولوژی غذایی، دانشگاه متروپولیتن لندن

دکتر حمید بهادر قدوسی

استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

دکتر کیانوش خسروی

استاد، ویروس شناسی، دانشگاه آریزونا

دکتر مرتضی عباسزادگان

استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه دانمارک

دکتر محمدمین محمدی

استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف

دکتر منوچهر وثوقی

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳

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

تلفن: ۲۰-۸۷۹۵۶۱۸ داخلی ۳۲۱ نامبر: 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

- ۵۰۷ ارزبایی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زالزالک (*Crataegus pinnatifida*) طی نگهداری در شرایط مختلف و مدل سازی تغییرات با مدل های سینتیکی
محسن زندی - علی گنجلو - ماندانا بی مکر
- ۵۲۵ تولید شکلات حبابدار و استفاده از مقطع نگاری اشعه X و پردازش تصویر در بررسی ویژگی های حباب ها
مسیح سرفرازی - محبت محبی - مهدی سعادت مند طرزجان - علی میرشاهی
- ۵۴۱ ارزبایی عملکرد خاک رنگبر حاوی مقادیر افزایش یافته اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن سویا
بهاره خلیق - مریم قراچورلو - پیمانہ قاسمی افشار
- ۵۵۵ تأثیر جایگزینی آرد گندم با مشتقات پروتئینی سویا بر افزایش فعالیت بازدارندگی آنزیم مبدل آنزیم تنسین پپتیدهای زیست فعال
خمیر
رضا باتقوا - معصومه مهربان سنگ آتش - احمد احتیاطی
- ۵۶۹ بهینه سازی استخراج و اصلاح ویژگی های فیزیکوشیمیایی پروتئین و فیبر باقلا توسط اولتراسوند و هیدرولیز آنزیمی
محیا اورجی - مزدک علیمی - علی معتمدزادگان - شیرین شکوهی
- ۵۸۱ تأثیر پوشش خوراکی حاوی کربوکی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر ماندگاری قارچ دکمه ای
مهیار راد - حامد غفوری - زهره غلامی
- ۶۰۷ بررسی کیفیت کیک بدون گلوتن تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده به روش حرارتی - رطوبتی
مهران اعلمی - بهاره فتحی
- ۶۲۱ تأثیر گرمایش اهمیک بر سرعت انجماد زدایی و خصوصیات ماهی تن منجمد
مریم کشانی - نفیسه زمین دار - رضا حاجیان
- ۶۲۹ بررسی اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا و تغییر اندازه ذرات آرد سوخاری بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی ناگت مرغ
مریم سادات ستوده - نفیسه سلطانی زاده
- ۶۴۳ اسانس پونه: ترکیبات شیمیایی، فعالیت آنتی اکسیدانی، فنل کل و اثر سایتوتوکسیک آن بر رده سلولی HT29
هادی تناور - حسن برزگر - بهروز علیزاده بهبهانی - محمد امین مهرنیا
- ۶۵۵ توسعه مدل پیشگو به منظور تعیین سفتی میوه "به" به کمک برنامه نویسی ژنتیک و شبکه عصبی در خلال انبارمانی
شیمیا نصیری - سامان آبدانان مهدی زاده - مختار حیدری
- ۶۶۹ اثر آنتی اکسیدانی سلنیت سدیم میکروکپسوله شده به روش تبخیر حلال، در روغن سویا در طول مدت یکسال نگهداری
فروزان جلالی زند - محمد گلی

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زالزالک (*Crataegus pinnatifida*) طی نگهداری

در شرایط مختلف و مدل‌سازی تغییرات با مدل‌های سینتیکی

محسن زندی^{1*} - علی گنج‌لو² - ماندانا بی‌مکر²

تاریخ دریافت: 1398/06/10

تاریخ پذیرش: 1398/09/10

چکیده

شرایط نگهداری نامناسب منجر به کاهش کیفیت قابل توجه زالزالک می‌گردد که بر پذیرش نهایی مصرف‌کننده موثر است. تاکنون پژوهشی مبنی بر بررسی تاثیر شرایط نگهداری بر تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میوه زالزالک گزارش نشده است. در پژوهش حاضر تغییرات در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مرتبط با کیفیت میوه طی نگهداری زالزالک تحت شرایط مختلف نگهداری (محیط، یخچالی و سردخانه) مورد ارزیابی قرار گرفت؛ سپس پنج مدل سینتیکی (مدل‌های درجه صفر، درجه اول، درجه دوم، تبدیل جزء و ویبال) بر داده‌های تجربی برازش گردید و پارامترهای مدل توسط تحلیل رگرسیونی محاسبه گردید. شرایط و زمان نگهداری تاثیر معناداری بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (به‌غیر از برخی خصوصیات هندسی) داشت و تغییرات قابل توجهی در رنگ، سفتی بافت و افت وزن زالزالک رخ داد. سفتی بافت، اسیدیته قابل تیتر، pH، شاخص رسیدگی، خصوصیات رنگی (به‌غیر از خصیصه‌های a^* و c^*) به‌طور معناداری کاهش یافت و افت وزن، میزان مواد جامد محلول و خصیصه‌های a^* و c^* نیز به‌طور معناداری افزایش پیدا نمودند. نتایج نشان داد که مدل‌های سینتیکی درجه اول و ویبال بهترین توصیف را از تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشان دادند. وابستگی دمایی کیفیت میوه به شرایط نگهداری به‌طور موفقیت آمیزی توسط معادله آرنیوس توصیف گردید. خروجی این پژوهش نتایج مفید و ارزشمندی برای شرایط و نحوه نگهداری زالزالک فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: زالزالک، شرایط نگهداری، مدل‌سازی سینتیکی، مدل آرنیوس، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

مقدمه

جهان است که هم به صورت تازه و هم به صورت فرآوری شده (مربا، نوشیدنی الکلی، ژله و غیره) استفاده می‌گردد. زالزالک به سبب عطر و طعم عالی، رنگ جذاب و محتوای بالای مواد مغذی و ریزمغذی به‌عنوان جزء مهم بسیاری از محصولات غذایی فرآوری شده است (Li *et al.*, 2015). خواص دارویی زیادی از گیاه زالزالک خصوصاً در درمان نارسایی‌های قلبی گزارش شده است. به‌طوری‌که از میوه این گیاه به‌عنوان داروی گیاهی رایج در درمان بیمارهای قلبی استفاده می‌شود (Derili gharjalar *et al.*, 2017; Froehlicher *et al.*, 2009; Pittler *et al.*, 2003; Tankanowa *et al.*, 2003). همچنین گزارشاتی مبنی بر استفاده از زالزالک برای جلوگیری از رشد سلول‌های سرطانی (Rodrigues *et al.*, 2012)، کاهش کلسترول و چربی خون (Zhang *et al.*, 2002)، کاهش اسهال و خونریزی قاعدگی (Ozcan *et al.*, 2005)، کاهش سنگ کلیه و مدر (Rigelsky & Sweet, 2002)، تغییر آنزیم‌های معده و متابولیسم کلسترول در کبد (Kwok *et al.*, 2010) و کاهش التهاب (Salam *et al.*, 2012) وجود دارد.

برداشت زالزالک در گونه‌های وحشی در فصل پاییز (مهر و آبان) صورت می‌پذیرد (Ozcan *et al.*, 2005). با این حال پیش و پس از

امروزه در دنیا توجه ویژه به میوه‌ها و سبزی‌های بومی به سبب خواص دارویی و تغذیه‌ای افزایش یافته است. ایران نیز به سبب موقعیت و شرایط آب و هوایی جزء مناطق اصلی با تنوع گیاهی بالا در دنیا می‌باشد و محصولات باغی و جنگلی منحصربفردی دارد؛ زالزالک یکی از محصولات ویژه با سطح بارور حدود 305 هکتار و تولید 891 تن است (Derili gharjalar, Hassanpour, Farokhzad, 2017). زالزالک (*Crataegus pinnatifida*) متعلق به خانواده گل‌سرخیان³ و از جنس زالزالک (*Crataegus*) می‌باشد (Liu *et al.*, 2016). این میوه با حدود 280 گونه به‌طور گسترده‌ای در مناطق معتدل نیم‌کره شمالی به‌خصوص در آسیای شرقی، اروپا و آمریکای شمالی به‌طور وحشی می‌روید (Zhang *et al.*, 2002). این میوه یکی از پرمصرف‌ترین محصولات باغی در

1 و 2- به ترتیب استادیار و دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

(* - نویسنده مسئول: Email: zandi@znu.ac.ir)

به عنوان یکی از میوه‌های بومی ایران معرفی نمود و امکان توسعه کشت و نیز فراوری و نگهداری آن را فراهم نمود.

مواد و روش‌ها

تهیه زالک و اعمال تیمارهای مختلف

برای بررسی اثر شرایط نگهداری بر درجه کیفی میوه زالک (*Crataegus pinnatifida*) طی نگهداری در شرایط استاندارد تجاری (دمای 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90 درصد) (Razavi et al., 2018)، یخچالی (دمای 10-8 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 85 درصد) و محیط (دمای 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 60 درصد) میوه‌های با درجه رسیدگی مناسب (یعنی میزان مواد جامد محلول¹ (TSS) حدود 5 (Razavi et al., 2018) تهیه گردید. میوه‌ها از باغات شرکت میثاق امداد (استان گیلان) برداشت گردید و زالک‌های با شکل، رنگ، اندازه و درجه رسیدگی مشابه در سه گروه مجزا به مدت 20 روز در سه شرایط فوق نگهداری گردید. نمونه‌برداری با حداقل 10 تکرار هر 5 روز یکبار و به صورت تصادفی انجام پذیرفت.

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

افت وزن (WL) نمونه‌ها از تغییرات وزن نسبت به وزن اولیه حداقل 50 زالک به دست آمد. تغییرات وزن با کمک ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 گرم (AND، HL-I، ژاپن) و طی دوره‌های 5 روزه اندازه‌گیری شد (Ashournezhad & Ghasemnezhad, 2012). سفتی بافت (F) با استفاده از آزمون نفوذ و با کمک دستگاه تست بافت (کوپا، ایران) مجهز به پلانجر با قطر 3 میلی‌متری با سرعت نفوذ و حداکثر عمق نفوذ به ترتیب برابر 0/5 میلی‌متر بر ثانیه و 6 میلی‌متر انجام پذیرفت. شاخص شکلی نیز با استفاده از تصاویر دیجیتال و با کمک نرم افزار متلب (R2017a، ایالات متحده آمریکا) به دست آمد (Ozcan et al., 2005; Li et al., 2015).

$$MDC = (D_0 - D_1) \times (D_0)^{-1} \times 100 \quad (1)$$

$$Dg = (L \times D^2)^{0.33} \quad (2)$$

$$\phi = (L \times D^2)^{0.33} \times L^{-1} \quad (3)$$

که D ، L ، MDC ، D_0 ، D_1 ، Dg و ϕ به ترتیب مقدار قطر اصلی، طول میوه، تغییرات قطر اصلی، قطر اولیه، قطر ثانویه قطر میانگین هندسی و ضریب کرویت است. دیجیتال (با فرمت TIFF) با استفاده از دوربین کانن (70D، ساخت ژاپن) با لنزی با زوم بین 18-55

برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها، عوامل متعددی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، ارزش غذایی و میزان ترکیبات زیست فعال ارزشمند آنها موثر است (Kirakosyan et al., 2003; Li et al., 2015)، ارزیابی کیفی میوه‌ها و سبزی‌ها به سبب پیوند خوردن با خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار پیچیده است و عمدتاً تابع زمان و شرایط نگهداری است (Nordey et al., 2014). به طور کلی کیفیت میوه و سبزی و عمر انبارمانی آن را می‌توان با بررسی و کنترل برخی خصوصیات مهم نظیر شرایط برداشت (نحوه و زمان برداشت و درجه رسیدگی میوه)، دما و رطوبت نگهداری میوه و سبزی، شرایط فیزیکی و شیمیایی نگهداری افزایش داد (Rop et al., 2011; Ashournezhad & Ghasemnezhad, 2012). برای بررسی این تغییرات طی نگهداری نیاز به آزمون‌های مختلفی وجود دارد. از آنجایی که انجام بسیاری از آزمون‌ها بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر است (Jahangiri-Saleh et al., 2017). در نتیجه در سال‌های اخیر مطالعات سینتیکی کاهش کیفیت محصولات غذایی و نیز تخریب ریزمغذی‌ها طی نگهداری مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (Hashim et al., 2012). مدل‌سازی سینتیکی کاهش کیفیت یک مرحله مهم برای کنترل و پیش‌بینی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی طی نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشد (Remini et al., 2015). از مدل‌های سینتیکی می‌توان به‌عنوان ابزاری جهت توصیف تغییرات کمی فیزیکی و شیمیایی، بیوشیمیایی و تغذیه‌ای در تحقیقات غذایی استفاده کرد (Dhakala et al., 2018).

متأسفانه میوه‌های بومی ایران نظیر زالک با آنکه دارای پتانسیل بالایی برای تولید و فراوری هستند؛ ولی هیچ برنامه‌ریزی مشخصی برای تولید انبوه و صنعتی آن وجود ندارد؛ با وجود سابقه طولانی استفاده از زالک به‌عنوان میوه خوراکی و نیز در کاربردهای دارویی (Liu et al., 2010)، با این حال تحقیقات اندکی درباره آن انجام شده است و تاکنون پژوهشی مبنی بر بررسی تاثیر شرایط نگهداری بر تغییرات فیزیکی و شیمیایی میوه زالک گزارش نشده است. از اینرو هدف از پژوهش حاضر اولاً ارزیابی تغییرات هندسی، فیزیکی شامل ویژگی‌های بافتی و رنگی، شیمیایی شامل مواد جامد کل، اسیدیته قابل تیترو و شاخص رسیدگی زالک طی نگهداری است. ثانیاً مدل‌سازی سینتیکی تغییرات کیفی زالک طی نگهداری به مدت بیست روز در شرایط مختلف (سردخانه، یخچال و محیط) می‌باشد. به این منظور از مدل‌های سینتیکی مختلفی جهت مدل‌سازی تغییرات فیزیکی و شیمیایی و پیش‌بینی این تغییرات استفاده گردید. نوآوری این پژوهش بررسی تغییرات زالک تحت شرایط مختلف نگهداری (محیط، یخچالی و سردخانه) است تا علاوه بر یافتن پهنه شرایط نگهداری، امکان یافتن عمر انبارمانی این میوه بومی فراهم می‌آید. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان زالک را

1 Total soluble solid (TSS)

(9) و درجه دوم (رابطه 10) تبعیت می‌نماید (Labuza, 1979; Nannyonga *et al.*, 2016).

$$C_t = C_0 + [k_{ZO} \times t] \quad (8)$$

$$C_t = C_0 \times \exp [-k_{FO} \times t] \quad (9)$$

$$C_t = ((C_0) / (1 + C_0 \times k_{SO} \times t)) \quad (10)$$

که C_t مقدار پارامتر کیفی در زمان t ، C_0 نیز مقدار اولیه پارامتر کیفی در زمان صفر و k_{ZO} ، k_{FO} و k_{SO} به ترتیب برابر ثابت سرعت درجه صفر، درجه یک و درجه دو (مثبت یعنی رشد نمایی ایزوترم و منفی یعنی کاهش نمایی ایزوترم) بر حسب S^{-1} است. با بدست آوردن ثابت نرخ تغییر پارامتر از معادله درجه اول (k_{FO}) نیمه عمر نگهداری محصول ($t_{1/2}$) بر اساس هر کدام از خصیصه‌های فیزیکی محاسبه گردید (Remini *et al.*, 2015; Chowdhury *et al.*, 2011)

$$t_{1/2} = \ln(2) / k_{FO} \quad (11)$$

دو معادله سینتیکی دیگر یعنی تبدیل جزء⁵ (رابطه 12) و ویبال (رابطه 13) نیز برای برآزش داده‌های تجربی استفاده شد (Levenspiel, 1972; Corradini & Peleg, 2007).

$$C_t = C_{\infty} + (C_0 - C_{\infty}) \times \exp[-k \times t] \quad (12)$$

$$C_t = C_0 \times \exp[-k \times t^n] \quad (13)$$

که C_{∞} مقدار تعادلی شاخص کیفی در نمونه نهایی و n فاکتور شکلی یا درجه واکنش می‌باشد. انتخاب بهترین مدل با کمک ضریب تبیین (R^2) بین مقدار واقعی با مقدار پیش‌بینی شده، ریشه میانگین مربعات خطا⁶ (RMSE) و نیز میانگین مربعات خطا⁷ (MSE) انجام شد.

معادله آرنیوس قابل قبول‌ترین عبارت برای محاسبه تأثیر دما بر ثابت‌های سرعت سینتیکی در سیستم‌های غذایی است. با کمک معادله آرنیوس ارتباط ثابت سینتیکی تخریب کیفی (k) با دمای مطلق فرآیند بر حسب کلین (T) بررسی گردید (Pinheiro *et al.*, 2002; Nannyonga, 2016; Bakalis *et al.*, 2016)

$$k = k_{ref} \times \exp [-(E_a / R) \times (T^{-1} - T_{ref}^{-1})] \quad (14)$$

میلی‌متری (کانن، ژاپن) ثبت گردید. پس از پردازش تصاویر (حذف نویز و تبدیل محیط RGB به مختصات CIE Lab) با استفاده از نرم‌افزار Image و پلاگین‌های آن (نسخه 1/52، موسسه ملی بهداشت، ایالات متحده آمریکا) خصیصه‌های L^* ، a^* و b^* استخراج شد و سایر خصیصه‌ها شامل خلوص رنگ یا کروما¹ (رابطه 4)، تغییرات رنگی (رابطه 5) و زاویه رنگ² (رابطه 6) نیز محاسبه گردید (Cardenas-Perez *et al.*, 2017; Arzate-Vazquez *et al.*, 2011).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5} \quad (4)$$

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{0.5} \quad (5)$$

$$h^* = \arctan(b^* / a^*) \quad (6)$$

پس از آب‌گیری زالک و صاف کردن آب آن، میزان مواد جامد محلول (TSS) و pH به ترتیب با کمک رفرکتومتر دستی (آتاگو، H50، ژاپن) و pH متر (هانا ایتالیا، HI2211) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتر³ (TA) نیز با روش AOAC و از طریق تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال انجام پذیرفت (Li *et al.*, 2015) (Helrich, 1990). با داشتن برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شاخص رسیدگی⁴ (RPI) از معادله 7 محاسبه گردید (Vélez-Rivera *et al.*, 2014):

$$RPI = \ln(100 \times |F| \times (TA/TSS)) \quad (7)$$

مدل‌سازی ریاضی و پیش‌بینی خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی

مدل‌سازی در حقیقت استفاده از روابط و معادلات به‌جای انجام تجربی آزمون‌ها می‌باشد. در این پژوهش برای فهمیدن ارتباط کمی بین زمان و دمای نگهداری با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلف زالک، رفتار داده‌های آزمایشگاهی با مدل‌های سینتیکی مختلف توصیف گردید. با الهام از پژوهش‌های پیشین (Nannyonga *et al.*, 2016; Avila & Silva, 1999; Chen & Ramaswamy, 2002; Gupte *et al.*, 1964; Nisha *et al.*, 2005; Shin *et al.*, 2007, Weemaes *et al.*, 1999) مدل‌های سینتیکی مختلفی برای این تحقیق انتخاب گردید. معمولاً سینتیک تغییرات کیفی در میوه و سبزی‌ها از سه معادله سینتیکی درجه صفر (رابطه 8)، درجه اول (رابطه

5 Fractional conversion model
6 Root mean squared error
7 Mean square error (MSE)

1 Chroma
2 Hue angle
3 Titratable acidity (TA)
4 Ripening index (RPI)

خصوصیات فیزیکی

مرحله رسیدگی و کیفیت میوه طی نگهداری (محمدی و همکاران، 2015) دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشند. همان‌طور که در شکل 1-الف مشاهده می‌گردد، میزان افت وزن با افزایش زمان نگهداری بیشتر می‌گردد؛ به طوری که میزان این ویژگی در روز بیستم نگهداری برای شرایط نگهداری تجاری، یخچالی و در محیط به ترتیب برابر 19/17، 26/11 و 35/11 درصد است. نتایج مشابهی از این روند تغییرات برای سایر میوه‌ها گزارش گردیده است (Ashournezhad & Ghasemnezhad, 2012; Rivera *et al.*, 2014; Vélez-Rivera *et al.*, 2014). طی نگهداری در شرایط محیط به سبب دمای بالاتر (25 درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی پایین‌تر (60 درصد) میزان از دست دادن رطوبت و به دنبال آن افت وزن نزدیک به دو برابری نسبت به شرایط نگهداری تجاری مشاهده گردید. از آنجایی که ارتباط مستقیم و تنگاتنگی بین افت رطوبت و کاهش کیفی میوه و سبزی وجود دارد (Billy *et al.*, 2008)؛ از اینرو نگهداری در شرایط تجاری سبب می‌گردد که کیفیت نهایی میوه بهتر حفظ گردد (Paull, 1999; Guadarrama & Andrade, 2012).

میزان سفتی بافت زلزالک طی بیست روز نگهداری تغییر معناداری نمود ($p < 0.05$)؛ به طوری که از مقدار اولیه 17/2 نیوتن برای شرایط نگهداری تجاری، یخچالی و در محیط به ترتیب به مقدار 14/6، 14/1 و 10/4 تغییر یافت. این نرم شدن بافت میوه در کنار افت رطوبت، می‌تواند به سبب تجزیه پکتین و همی سلولز و یا فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده کربوهیدرات‌ها باشد (Guadarrama & Andrade, 2012; Gordon & Barrett, 2012).

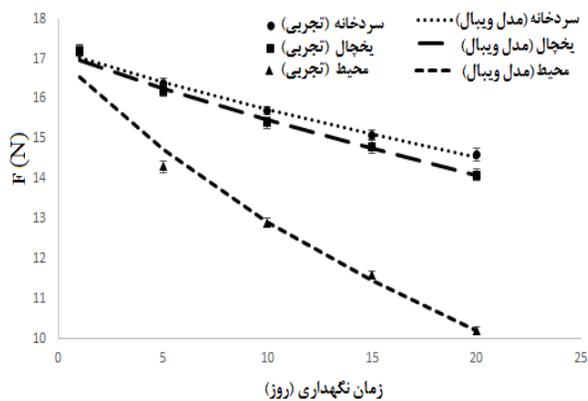
که E_a و R به ترتیب برابر انرژی فعال‌سازی (بر حسب ژول بر مول) و ثابت جهانی گازها (برابر 8/4531 ژول بر مول کلونین) است. $k_{T_{ref}}$ ثابت آرنیوس در دمای مرجع (T_{ref}) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

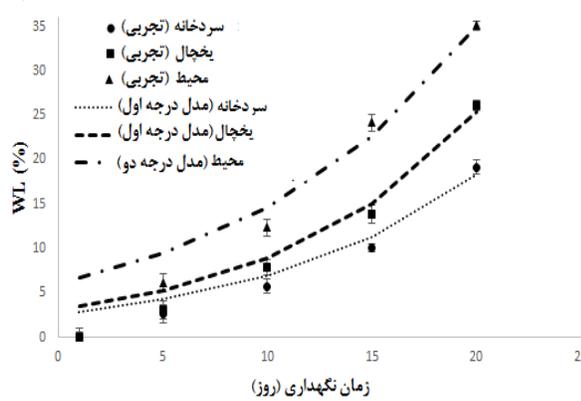
تجزیه و تحلیل آماری تاثیر زمان و شرایط نگهداری بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) انجام گرفت که در آن رطوبت به عنوان بلوک و دما و زمان نگهداری به عنوان تیمار در نظر گرفته شد. نرم‌افزار SPSS (نسخه 24، ایالات متحده آمریکا) جهت انجام آنالیز آماری استفاده گردید و در صورت معناداری اختلافات بین تیمارها ($p < 0.05$) از آزمون دانکن به عنوان آزمون تعقیبی برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار اکسل نسخه 2016 و محاسبه نوار خط با کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه 24، ایالات متحده آمریکا) انجام پذیرفت و آزمون‌ها حداقل در سه تکرار انجام شدند. از نرم‌افزار متلب (نسخه 2017، ایالات متحده آمریکا) و جعبه ابزار برازش منحنی جهت برازش مدل‌های سینتیکی بر داده‌های تجربی و یافتن ضرایب و ثابت‌های مدل استفاده گردید.

نتایج و بحث

در تمامی نتایج و بحث‌ها نمودار روند تغییرات به همراه بهترین مدل سینتیکی برازش شده بر آن نشان داده شده است. پس از بررسی‌های انجام شده از تغییرات، در نهایت مدل‌سازی سینتیکی انجام و بهترین مدل انتخاب می‌گردد.



(ب)



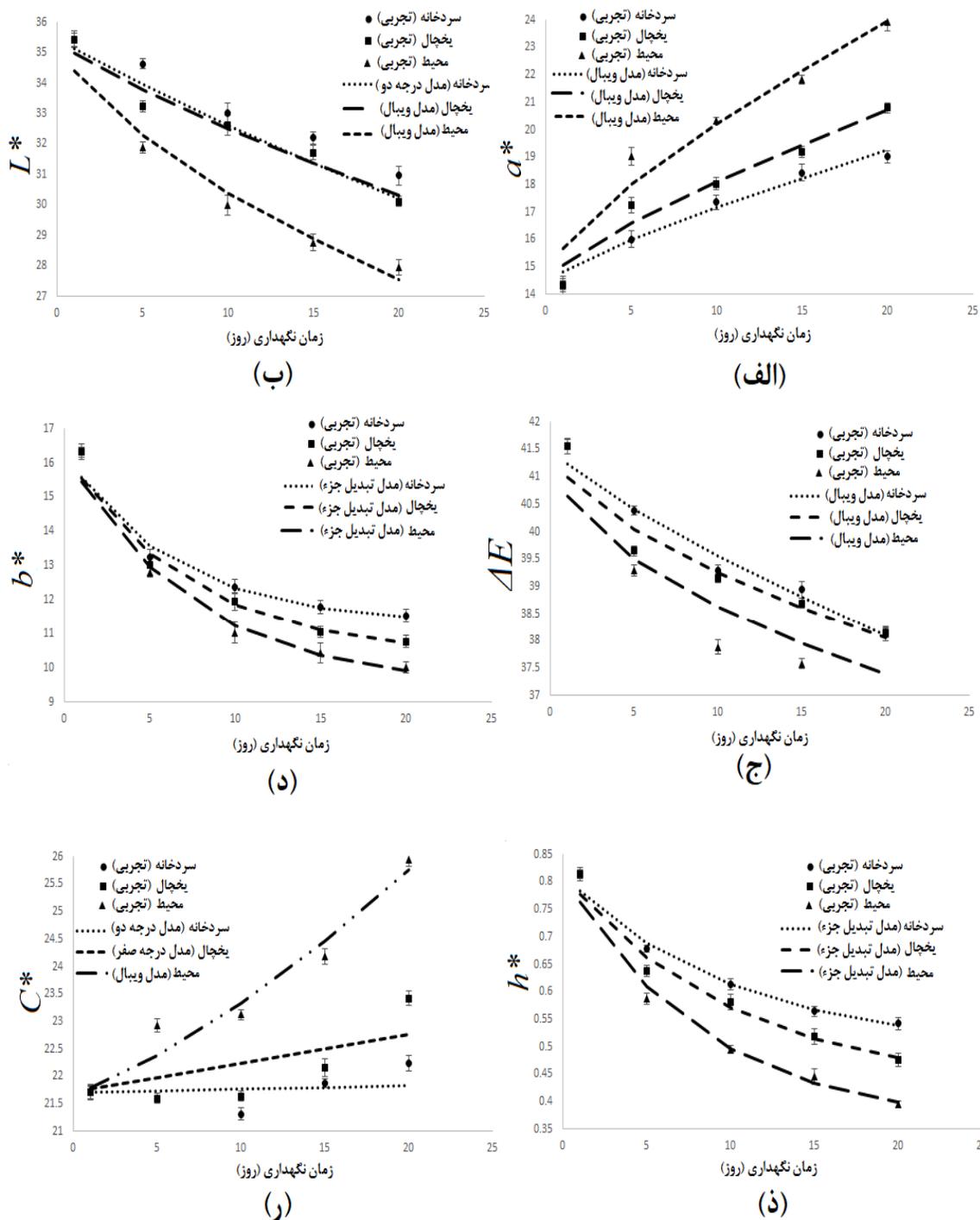
(الف)

شکل 1- مدل‌سازی سینتیکی تاثیر زمان و شرایط نگهداری زلزالک بر تغییرات (الف) افت وزن و (ب) بافت.

نشان‌دهنده افزایش رنگ قرمزی و کاهش رنگ زردی است. این روند به‌طور معناداری ($p < 0.05$) در شرایط محیط نسبت به یخچالی و یخچالی نسبت به سردخانه شدت بیشتری داشت که نشان‌دهنده توسعه بیشتر رنگ قرمز و رسیدگی با سرعت بیشتر در دمای محیط است. همانطور که در شکل 2-ر مشاهده می‌گردد، کروما که نشان‌دهنده شدت رنگ یا خلوص رنگ است (Derili gharjalar *et al.*, 2017) طی نگهداری در سردخانه تغییر معناداری ($p < 0.05$) نداشت؛ ولی در دمای یخچالی و محیط مقدار آن در روزهای نزدیک به روز بیستم نگهداری به‌طور معناداری ($p < 0.05$) افزایش یافت. روند مشابهی برای تغییرات رنگ (ΔE) نیز مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که در روزهای منتهی به روز بیستم نگهداری تغییرات رنگ در هر سه شرایط نگهداری به‌طور معناداری ($p < 0.05$) کاهش یافت ولی نسبت به یکدیگر تغییر معناداری ($p < 0.05$) نداشت. خصیصه‌های شکلی محصولات کشاورزی مهمترین ویژگی‌ها در طراحی سیستم‌های نگهداری، درجه‌بندی، انتقال، فراوری و بسته‌بندی است (Khoshnam *et al.*, 2007). نتایج بررسی تغییرات خصیصه‌های هندسی طی نگهداری زالک در شرایط مختلف در جدول 1 نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌گردد، طول میوه (L) و نسبت طول به قطر (L/D) طی مدت نگهداری در هر سه شرایط تغییر معناداری ($p < 0.05$) نداشت و این درحالی است که قطر اصلی (D) طی نگهداری به‌طور معناداری ($p < 0.05$) کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در فاصله بیست روز نگهداری تغییرات قطر اصلی (MDC) برای شرایط نگهداری در سردخانه، یخچالی و در محیط به‌ترتیب 3/86، 3/89 و 7/73 درصد بود. قطر میانگین هندسی (Dg) و ضریب کرویت (ϕ) دیگر خصیصه‌های اندازه‌گیری شده طی نگهداری زالک بود؛ قطر میانگین هندسی (Dg) با گذشت زمان نگهداری در هر سه شرایط نگهداری به‌طور معناداری ($p < 0.05$) کاهش پیدا کرد؛ در حالی‌که تغییرات ضریب کرویت تنها در شرایط نگهداری یخچالی و سردخانه معنادار ($p < 0.05$) بود. بررسی خصوصیات هندسی و فیزیکی میوه و سبزی‌های مختلف مانند خرما (محمدی و همکاران، 2015)، انار (Khoshnam *et al.*, 2007)، میوه کاپر (کاپاریس یا هندوانه کوهی)¹ (Sessiz *et al.*, 2007)، سیب‌زمینی (Singh *et al.*, 2006) و هلو (Wang, 2004) توسط سایر محققان گزارش شده است. نتایج بررسی‌های هندسی نشان داد که خصیصه‌های هندسی شاید شاخص‌های بسیار مناسبی برای بررسی تغییرات طی نگهداری زالک نباشد.

با مقایسه شرایط مختلف نگهداری زالک (شکل 2-ب) مشخص گردید که تفاوت معناداری ($p < 0.05$) بین سفتی بافت زالک نگهداری شده در شرایط سردخانه و یخچالی طی بیست روز وجود ندارد و این در حالی است که زالک‌های نگهداری شده در محیط به‌طور معناداری ($p < 0.05$) نرم‌تر می‌باشند. این یافته با نتایج تغییرات افت وزن نیز مطابقت دارد. نرم شدن بافت طی نگهداری و رسیدگی آواکادو (Arzate-Vazquez *et al.*, 2011)، سیب (Cardenas-Perez *et al.*, 2017)، انبه (Vélez-Rivera *et al.*, 2014)، گوجه‌فرنگی (Wan *et al.*, 2018) و خرما (Mohammadi *et al.*, 2015) توسط سایر محققان گزارش گردیده است.

خصیصه‌های رنگی میوه زالک طی نگهداری در شرایط مختلف در شکل 2 نشان داده شده است. خصیصه L^* ویژگی ارزیابی رنگی مهمی است که شاخصی از روشنایی رنگ است (بین 0 تا 100) (Li *et al.*, 2015). همان‌طور که در شکل 2-ب مشاهده می‌شود، این خصیصه در طول دوره نگهداری در هر سه شرایط به‌طور معناداری ($p < 0.05$) کاهش می‌یابد. همچنین زالک‌های نگهداری شده در سردخانه و یخچال پس از بیست روز از نظر این خصیصه باهم تفاوت معناداری ($p < 0.05$) ندارند. درحالی‌که نمونه‌های نگهداری شده در محیط بعد از بیست روز بطور معناداری ($p < 0.05$) تیره‌تر هستند. این امر احتمالاً به سبب افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز است (Ashourmezhad & Ghasemnezhad, 2012, Vélez-Rivera *et al.*, 2014)، که در دمای محیط بیشتر است. علاوه بر آن رشد لکه‌های قهوه‌ای در سطح میوه که به سبب فساد قارچی میوه است، می‌تواند دلیل دیگری برای این کاهش باشد (Vélez-Rivera *et al.*, 2014). خصیصه a^* نشان‌دهنده قرمزی (مقادیر مثبت) و سبزی (مقادیر منفی) نمونه است (Li *et al.*, 2015) و افزایش معنادار آن طی نگهداری و در دماهای مختلف به سبب قرمزتر شدن رنگ میوه است. خصیصه‌های b^* نیز که نشان‌دهنده و شاخص رنگ زرد است. مقدار این خصیصه بطور معناداری ($p < 0.05$) از روز اول تا روز بیستم کاهش یافت؛ به‌طوری‌که از مقدار اولیه 16/31 به مقدار 11/54، 10/76 و 10/01 به‌ترتیب در شرایط تجاری، یخچالی و در محیط رسید. تغییرات مشابهی از ازگیل ژاپنی (Ashourmezhad & Ghasemnezhad, 2012) و انبه (Vélez-Rivera *et al.*, 2014) نیز توسط سایر محققان گزارش شده است. زاویه رنگ نزدیک به 0 درجه نشان‌دهنده رنگ قرمز و نارنجی، نزدیک به 90 درجه نشان‌دهنده رنگ زرد، نزدیک به 180 درجه نشان‌دهنده رنگ خاکستری-سبز و نزدیک به 270 درجه نشانگر رنگ آبی است (Derili gharjalar *et al.*, 2017). همانطور که مشاهده می‌شود زاویه رنگ در هر سه شرایط نگهداری از روز اول تا روز بیستم به‌طور معناداری ($p < 0.05$) کاهش یافت و به صفر درجه نزدیک شد که این



شکل 2- مدل سازی سینتیکی تاثیر زمان و شرایط نگهداری از گیل بر تغییرات (الف) a^* (ب) L^* (ج) ΔE (د) b^* (ذ) h^* (ر) C^* .

جدول 1- برخی از خصوصیات هندسی میوه زالک طی شرایط مختلف نگهداری.

شرایط نگهداری	زمان نگهداری (روز)	D	Le	Le/D	MDC	Dg	φ
سردخانه	0	23/3±0/2 ^a	20/4±0/3 ^a	0/8755±0/02 ^a	0/00±0/8 ^a	21/61±0/12 ^a	1/059±0/004 ^a
	5	23/0±0/3 ^a	20/3±0/1 ^a	0/8826±0/01 ^a	1/29±0/6 ^{ab}	21/39±0/24 ^a	1/054±0/003 ^a
	10	22/8±0/1 ^b	20/1±0/3 ^a	0/8816±0/03 ^a	2/15±0/4 ^b	21/20±0/28 ^{ab}	1/055±0/003 ^a
	15	22/6±0/3 ^{bc}	20/0±0/2 ^a	0/8850±0/01 ^a	3/00±0/7 ^b	21/04±0/16 ^b	1/052±0/002 ^{ab}
	20	22/4±0/1 ^c	19/9±0/1 ^b	0/8884±0/01 ^a	3/86±0/6 ^c	20/88±0/27 ^b	1/049±0/003 ^b
یخچالی	0	23/3±0/2 ^a	20/4±0/3 ^a	0/8755±0/02 ^a	0/00±0/8 ^a	21/61±0/12 ^a	1/059±0/004 ^a
	5	22/9±0/3 ^{ab}	20/2±0/1 ^a	0/8821±0/02 ^a	1/72±0/4 ^b	21/29±0/21 ^{ab}	1/054±0/002 ^a
	10	22/7±0/1 ^b	20/1±0/1 ^a	0/8855±0/01 ^a	2/58±0/8 ^{bc}	21/14±0/15 ^b	1/052±0/001 ^b
	15	22/5±0/2 ^c	19/9±0/1 ^{ab}	0/8844±0/01 ^a	3/43±0/3 ^c	20/94±0/22 ^b	1/052±0/002 ^b
	20	22/4±0/1 ^c	19/8±0/1 ^b	0/8839±0/02 ^a	3/89±0/7 ^c	20/85±0/18 ^b	1/053±0/003 ^{ab}
محیط	0	23/3±0/2 ^a	20/4±0/3 ^a	0/8755±0/02 ^a	0/00±0/8 ^a	21/61±0/12 ^a	1/059±0/004 ^a
	5	22/5±0/3 ^b	19/8±0/2 ^{ab}	0/8800±0/01 ^a	3/43±0/9 ^b	20/91±0/17 ^b	1/056±0/002 ^a
	10	22/3±0/2 ^{bc}	19/4±0/3 ^b	0/8700±0/01 ^a	4/29±0/7 ^{bc}	20/65±0/24 ^b	1/064±0/003 ^a
	15	21/7±0/1 ^c	19/1±0/1 ^{bc}	0/8802±0/03 ^a	6/87±0/6 ^c	20/17±0/17 ^c	1/056±0/001 ^a
	20	21/5±0/3 ^c	18/9±0/1 ^c	0/8791±0/03 ^a	7/73±0/8 ^c	19/98±0/26 ^c	1/057±0/002 ^a

* اعداد نمایش داده شده حاصل میانگین حداقل 10 تکرار مستقل \pm SD می‌باشند.

** اعدادی با حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری دارای تفاوت معنادار می‌باشند ($p < 0.05$).

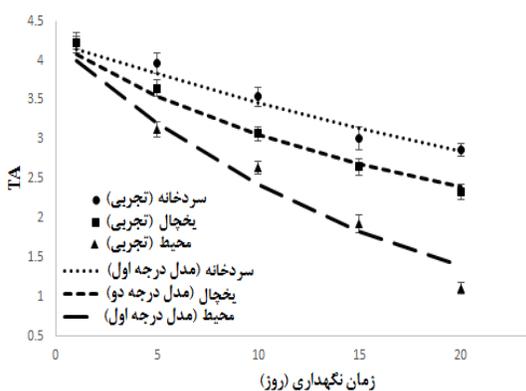
خصوصیات شیمیایی

تغییرات خصوصیات شیمیایی موثر بر کیفیت زالک طی نگهداری میوه در شرایط مختلف بررسی گردید و نتایج آن در شکل 3 ارائه شده a^* است. طی نگهداری زالک میزان مواد جامد (TSS) افزایش یافت؛ چگونه‌ای که میزان مواد جامد محلول طی نگهداری در سردخانه، یخچال و محیط به ترتیب 35/75، 41/80 و 65/91 درصد افزایش یافت که این افزایش نسبت به روش نگهداری و زمان نگهداری معنادار ($p < 0.05$) است. افزایش میزان مواد جامد محلول احتمالاً به سبب هیدرولیز نشاسته به قند طی نگهداری است که سبب بهبود طعم میوه نیز می‌گردد (Zheng et al., 2012; Li et al., 2015). این افزایش مواد جامد محلول می‌تواند به سبب محلول شدن برخی ترکیبات مانند پکتین نیز باشد (Li et al., 2015). کاهش میزان رطوبت (افت وزن) زالک طی نگهداری نیز می‌تواند از دلایل دیگر افزایش مواد جامد محلول باشد (Ashournezhad & Ghasemnezhad, 2012; Billy et al., 2008). علاوه بر این افزایش میزان قند که منجر به افزایش میزان مواد جامد محلول می‌گردد، می‌تواند سبب بهبود رنگ زالک گردد؛ چون بین محتوای آنتوسیانین و قندهای کل میوه‌های زالک، رابطه مثبت قابل توجهی وجود دارد (Qi et al., 2005).

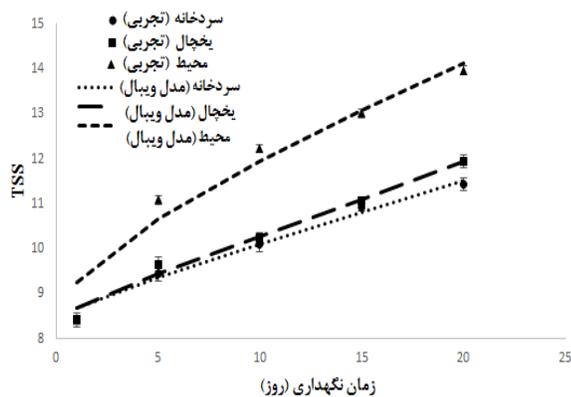
این تغییرات در خصیصه‌های رنگی که قبلاً بیان شد، کاملاً قابل مشاهده است. نتایج نشان داد که هرچه میزان مواد جامد محلول بیشتر (در شرایط نگهداری در محیط) افزایش یابد، میزان تغییر رنگ قرمز (خصیصه) بیشتر می‌گردد. تغییرات مشابهی توسط سایر محققان برای انار و سیب (Zheng et al., 2012) گزارش شده است. اسیدیته قابل تیترا (TA) به‌طور معناداری ($p < 0.05$) با افزایش زمان نگهداری کاهش پیدا می‌کند. همچنین تاثیر روش نگهداری بر آن معنادار ($p < 0.05$) است. به‌طوریکه میزان کاهش در شرایط نگهداری محیط بیشتر از (73/76 درصد) شرایط نگهداری یخچالی (44/68 درصد) و آن هم بیشتر از شرایط نگهداری در سردخانه (32/15 درصد) است. مالیک اسید، سیتریک اسید، کونیک اسید از اسیدهای آلی اصلی زالک در میوه بالغ هستند که میزان کل اسیدیته قابل تیترا بسته به رقم یا درجه رسیدگی در میوه بالغ بین 3/1 تا 11/8 درصد متغیر است (Liu et al., 2010; Li et al., 2015). تغییرات pH طی نگهداری تنها در شرایط نگهداری در محیط و نیز در روز بیستم نگهداری معنادار بود. همانطور که سایر پژوهشگران نیز مشاهده کرده‌اند، اختلافات جزئی بین pH در مراحل مختلف نگهداری مشاهده شده است (Salvador et al., 2007; Mohammadi et al., 2015). پژوهش حاضر مشاهده گردید که طی نگهداری به سبب تغییرات

زالزالک می‌گردند. همانطور که در شکل 3-د مشاهده می‌شود، شاخص رسیدگی به‌طور معناداری ($p < 0.05$) تحت تاثیر زمان نگهداری و شرایط نگهداری است. به‌طوری‌که میزان شاخص رسیدگی با افزایش زمان نگهداری در تمامی شرایط کاهش می‌یابد. شاخص رسیدگی در زالزالک‌های نگهداری شده در محیط به‌طور معناداری ($p < 0.05$) پایین‌تر از میوه‌های نگهداری شده در شرایط یخچالی و آن هم پایین‌تر از زالزالک‌های نگهداری شده در سردخانه بود.

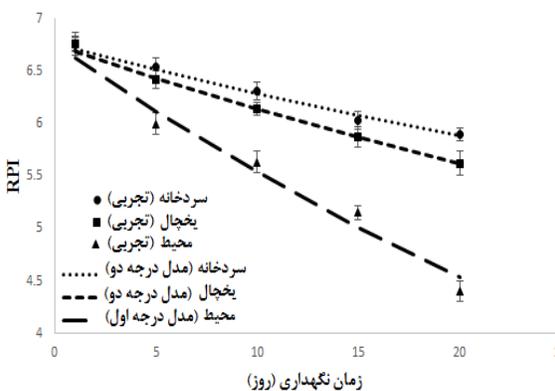
رسیدگی میوه مقدار مواد جامد محلول افزایش و اسیدیته قابل تیتر کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی توسط بسیاری از محققان دیگر برای سایر میوه‌ها و سبزی‌ها گزارش شده است (Johnson *et al.*, 2011; Afsharnia *et al.*, 2017; Billy *et al.*, 2008; Ashournezhad & Ghasemnezhad, 2012; Vélez-Rivera *et al.*, 2014; Distefano *et al.*, 2009; Mohammadi *et al.*, 2015; Wanitchang *et al.*, 2010). نتایج فوق این حقیقت را تأیید می‌نماید که روش نگهداری بر سرعت تغییرات ترکیبات شیمیایی موثر است و برخی روش‌های نگهداری نظیر نگهداری در سردخانه سبب کند شدن این تغییرات و در نتیجه افزایش عمر انبارمانی و کیفیت



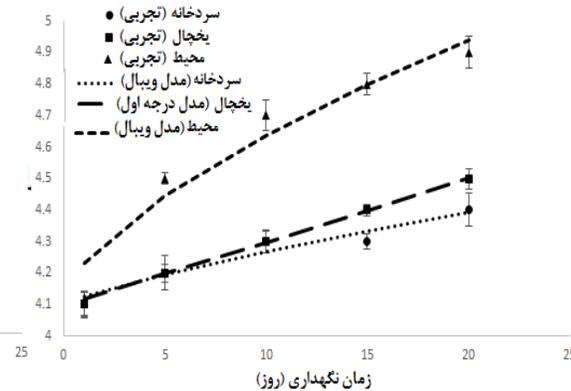
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل 3- مدل‌سازی سینتیکی تاثیر زمان و شرایط نگهداری از گیل بر تغییرات (الف) TA، (ب) TSS، (ج) RPI و (د) pH.

زالزالک طی نگهداری در شرایط مختلف از مدل‌سازی سینتیکی تغییرات استفاده گردید. برای این هدف روند این تغییرات با مدل‌های سینتیکی درجه صفر، اول، دوم، تبدیل جزء و ویبال مدل‌سازی گردید.

مدل‌سازی تغییرات خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی طی نگهداری با مدل‌های سینتیکی

مطالعات زیادی در مورد کاربرد سینتیک در زمینه تغییر در کیفیت مواد غذایی هنگام نگهداری و فرآوری انجام شده است (Chen & Ramaswamy, 2002). برای درک بیشتر و بهتر میزان تغییرات

جدول 2- ثابت‌های مدل به‌همراه ضریب R^2 به‌دست آمده از برازش مدل‌های درجه صفر، اول، دوم، تبدیل جزئی و ویبال بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

مدل ویبال		مدل تبدیل جزء			مدل درجه دوم		مدل درجه اول		مدل درجه صفر		شرایط نگهداری		
R^2	n	k_{WO}	R^2	C_{∞}	k_{FCO}	R^2	K_{SO}	R^2	k_{FO}	R^2	k_{ZO}	ی	
0/979	1/43682	0/02680	0/979	1/8956	0/15682	0/931	0/01629	0/996	0/09635	0/941	0/62670	سردخانه	WL
0/987	1/16750	0/06939	0/987	1/0559	0/13793	0/912	0/01424	0/996	0/10484	0/944	0/88808	یخچالی	
0/985	0/16550	0/30466	0/946	0/0000	0/13229	0/865	0/00680	0/982	0/08729	0/985	1/20811	محیط	
0/989	1/13017	-0/00460	0/992	0/0010	-0/00658	0/992	-0/00024	0/992	-0/00658	0/991	-0/22090	سردخانه	L*
0/959	0/85067	-0/01216	0/951	0/0010	-0/00808	0/953	-0/00024	0/950	-0/00808	0/948	-0/26756	یخچالی	
0/963	0/71618	-0/02936	0/918	0/0010	-0/01360	0/936	-0/00043	0/918	-0/01360	0/898	-0/47830	محیط	
0/977	0/71711	0/03445	0/937	0/0000	0/01562	0/914	0/00095	0/937	0/01562	0/956	0/25812	سردخانه	a*
0/959	0/66753	0/04997	0/918	0/0009	0/01971	0/898	0/00115	0/918	0/01971	0/935	0/33821	یخچالی	
0/949	0/58472	0/08920	0/878	0/0000	0/02772	0/840	0/00150	0/878	0/02773	0/910	0/51658	محیط	
0/904	0/61293	-0/06092	0/975	11/296	-0/15760	0/853	-0/00160	0/815	-0/02158	0/773	-0/29028	سردخانه	b*
0/929	0/66425	-0/06246	0/979	10/308	-0/13536	0/901	-0/00194	0/863	-0/02551	0/817	-0/33295	یخچالی	
0/932	0/68743	-0/06906	0/985	9/4507	-0/13407	0/915	-0/00239	0/871	-0/30182	0/815	-0/37902	محیط	
0/977	0/81699	-0/00750	0/959	0/0010	-0/00454	0/963	-0/00011	0/959	-0/00454	0/955	-0/18236	سردخانه	AE
0/936	0/62808	-0/01339	0/865	0/0010	-0/00484	0/872	-0/00012	0/865	-0/00484	0/858	-0/29254	یخچالی	
0/815	0/52621	-0/02178	0/671	0/0010	-0/00596	0/686	-0/00015	0/671	-0/00596	0/655	-0/23376	محیط	
0/961	0/73589	-0/04832	0/988	0/4968	-0/10085	0/947	-0/03578	0/919	-0/02383	0/883	-0/01581	سردخانه	h*
0/959	0/75577	-0/05810	0/977	0/4279	-0/09961	0/954	-0/04786	0/926	-0/03039	0/886	-0/01917	یخچالی	
0/953	0/75935	-0/07923	0/982	0/3574	-0/11904	0/958	-0/07258	0/917	-0/04236	0/852	-0/02429	محیط	
0/566	0/07708	0/00000	0/412	0/0001	0/00028	0/413	0/00001	0/413	0/00028	0/412	0/00600	سردخانه	C*
0/695	3/40771	0/000002	0/701	0/0010	0/00240	0/707	0/00011	0/701	0/00240	0/984	0/05266	یخچالی	
0/954	1/24402	0/00412	0/944	0/0001	0/00817	0/950	0/00035	0/944	0/00817	0/938	0/18915	محیط	
0/993	0/92874	-0/01036	0/989	0/0010	-0/00852	0/993	-0/00053	0/989	-0/00852	0/984	-0/13650	سردخانه	F
0/992	0/91916	-0/01272	0/987	0/0010	-0/01020	0/991	-0/00064	0/987	-0/01020	0/981	-0/16112	یخچالی	
0/982	0/87321	-0/03820	0/971	0/0010	-0/02722	0/984	-0/00196	0/972	-0/02721	0/950	-0/37483	محیط	
0/986	0/78298	0/03001	0/965	0/0001	0/01635	0/947	0/00168	0/965	0/01635	0/978	0/15939	سردخانه	TSS
0/985	0/80446	0/03130	0/971	0/0000	0/01810	0/957	0/00183	0/970	0/01971	0/980	0/17896	یخچالی	
0/952	0/56526	0/09522	0/863	0/0000	0/02800	0/815	0/00256	0/863	0/02799	0/904	0/30812	محیط	
0/978	1/20721	-0/01124	0/981	0/0000	-0/01973	0/979	-0/00541	0/981	-0/01973	0/976	-0/07151	سردخانه	TA
0/993	1/02106	-0/02880	0/994	0/0010	-0/03047	0/999	-0/00906	0/994	-0/03046	0/975	-0/10119	یخچالی	
0/976	1/19625	-0/03355	0/978	0/0000	-0/05573	0/961	-0/01901	0/978	-0/05573	0/978	-0/15752	محیط	
0/990	1/02492	-0/00658	0/991	0/0010	-0/00705	0/992	-0/00110	0/991	-0/00705	0/988	-0/04494	سردخانه	RPI
0/995	0/97521	-0/01003	0/994	0/0010	-0/00938	0/997	-0/00150	0/994	-0/00937	0/990	-0/05865	یخچالی	
0/977	1/08092	-0/01600	0/978	0/0000	-0/01992	0/974	-0/00344	0/978	-0/01992	0/979	-0/11511	محیط	
0/948	0/78414	0/00657	0/927	0/0001	0/003620	0/924	0/00085	0/927	0/00362	0/929	0/01531	سردخانه	pH
0/997	1/00286	0/00465	0/997	0/0010	0/004687	0/996	0/00110	0/997	0/00468	0/998	0/01997	یخچالی	
0/945	0/59839	0/03110	0/860	0/0001	0/010190	0/842	0/00226	0/860	0/01019	0/877	0/04594	محیط	

جدول 3- مقادیر آماری به‌دست آمده از برازش مدل‌های درجه صفر، اول، دوم، تبدیل جزئی و ویبال بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

مدل ویبال	مدل تبدیل جزء		مدل درجه دوم		مدل درجه اول		مدل درجه صفر		شرایط نگهداری		
	RMSE	Adj. R ²	RMSE	Adj. R ²	RMSE	Adj. R ²	RMSE	Adj. R ²			
0/085	0/980	0/097	0/979	0/398	0/931	0/091	0/996	0/243	0/941	سردخانه	WL
0/129	0/987	0/112	0/987	0/423	0/912	0/087	0/996	0/267	0/944	یخچالی	
0/123	0/984	0/213	0/946	0/765	0/865	0/111	0/982	0/121	0/985	محیط	
0/102	0/986	0/097	0/989	0/083	0/989	0/074	0/989	0/086	0/988	سردخانه	L*
0/278	0/946	0/328	0/934	0/341	0/937	0/295	0/934	0/376	0/930	یخچالی	
0/174	0/952	0/519	0/891	0/432	0/914	0/543	0/891	0/756	0/864	محیط	
0/154	0/969	0/375	0/916	0/544	0/886	0/401	0/916	0/298	0/941	سردخانه	a*
0/270	0/946	0/530	0/891	0/612	0/864	0/523	0/891	0/441	0/914	یخچالی	
0/291	0/932	0/602	0/837	0/801	0/758	0/642	0/837	0/734	0/880	محیط	
0/499	0/873	0/143	0/967	0/687	0/804	0/763	0/754	0/912	0/697	سردخانه	b*
0/387	0/906	0/113	0/972	0/546	0/867	0/674	0/817	0/764	0/756	یخچالی	
0/378	0/909	0/097	0/980	0/531	0/887	0/657	0/828	0/732	0/753	محیط	
0/234	0/970	0/201	0/945	0/198	0/951	0/243	0/945	0/287	0/940	سردخانه	AE
0/344	0/914	0/709	0/820	0/647	0/830	0/897	0/820	0/511	0/811	یخچالی	
0/867	0/753	0/932	0/561	0/901	0/581	0/938	0/561	0/821	0/540	محیط	
0/265	0/947	0/113	0/984	0/287	0/929	0/487	0/892	0/370	0/844	سردخانه	h*
0/271	0/946	0/165	0/969	0/343	0/939	0/376	0/901	0/310	0/848	یخچالی	
0/298	0/937	0/145	0/975	0/301	0/944	0/576	0/889	0/401	0/803	محیط	
0/921	0/421	0/954	0/217	0/974	0/217	0/974	0/217	0/974	0/216	سردخانه	C*
0/873	0/594	0/784	0/602	0/783	0/610	0/687	0/602	0/095	0/979	یخچالی	
0/221	0/940	0/265	0/926	0/276	0/933	0/301	0/925	0/174	0/917	محیط	
0/074	0/991	0/089	0/985	0/067	0/991	0/087	0/985	0/119	0/978	سردخانه	F
0/072	0/989	0/091	0/983	0/087	0/988	0/091	0/983	0/127	0/975	یخچالی	
0/121	0/976	0/112	0/962	0/083	0/979	0/123	0/962	0/231	0/933	محیط	
0/082	0/982	0/178	0/953	0/312	0/930	0/143	0/953	0/167	0/970	سردخانه	TSS
0/080	0/980	0/221	0/961	0/275	0/943	0/138	0/960	0/174	0/973	یخچالی	
0/265	0/936	0/693	0/818	0/804	0/753	0/673	0/818	0/376	0/873	محیط	
0/128	0/971	0/109	0/974	0/124	0/972	0/142	0/975	0/145	0/968	سردخانه	TA
0/051	0/991	0/050	0/992	0/041	0/999	0/054	0/992	0/131	0/967	یخچالی	
0/116	0/969	0/115	0/970	0/165	0/948	0/101	0/970	0/114	0/971	محیط	
0/089	0/987	0/085	0/988	0/083	0/991	0/091	0/988	0/083	0/984	سردخانه	RPI
0/065	0/993	0/058	0/992	0/072	0/995	0/074	0/992	0/074	0/987	یخچالی	
0/124	0/970	0/103	0/971	0/169	0/965	0/126	0/970	0/114	0/973	محیط	
0/197	0/931	0/289	0/902	0/321	0/898	0/397	0/902	0/267	0/906	سردخانه	pH
0/049	0/996	0/048	0/996	0/319	0/944	0/065	0/996	0/032	0/998	یخچالی	
0/301	0/927	0/621	0/814	0/629	0/798	0/578	0/814	0/439	0/836	محیط	

یخچال و محیط به ترتیب برابر $0/977$ و $0/499$ ، $0/959$ و $0/387$ ، $0/949$ و $0/378$ محاسبه گردید؛ همچنین مقدار ضریب تبیین و RMSE برابر $0/975$ و $0/143$ ، $0/979$ و $0/113$ ، $0/985$ و $0/097$ برای برازش مدل تبدیل جزء بر داده‌های خصیصه b^* به ترتیب تحت شرایط نگهداری در سردخانه، یخچال و محیط حاصل آمد. از نتایج برازش می‌توان اینطور استنباط کرد که چون ضریب تبیین در تمامی خصیصه‌ها بالای $0/945$ است؛ بنابراین همبستگی مناسبی بین مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر تجربی وجود دارد و در نتیجه مدل‌های سینتیکی می‌تواند تغییرات این خصیصه‌های رنگی را به خوبی توصیف نماید. برازش مدل‌های مختلف بر سایر خصیصه‌های رنگی نیز صورت پذیرفت؛ بهترین برازش برای تغییرات خصیصه‌های ΔE و h^* به ترتیب توسط مدل ویبال و تبدیل جزء برای هر سه شرایط نگهداری صورت گرفت و مدل‌های درجه دو، درجه صفر و ویبال نیز توانستند به خوبی داده‌های حاصل از خصیصه C^* را به ترتیب برای شرایط نگهداری در سردخانه، یخچال و محیط برازش نمایند. مقادیر بالاتر k نشان‌دهنده سرعت بیشتر تغییرات است که عمدتاً در نگهداری در محیط رخ می‌دهد؛ همچنین علامت منفی در مقدار k برای برخی خصیصه‌ها به معنی رفتار کاهش (شیب خطی منفی) آن خصیصه است.

مدل ویبال به سبب ضریب تبیین بیشتر از $0/952$ در تمامی شرایط نگهداری به‌عنوان بهترین مدل برای توصیف تغییرات خصیصه میزان مواد جامد محلول انتخاب گردید. همانطور که انتظار می‌رفت مقدار k حاصل از برازش با افزایش دما بیشتر شد؛ به‌طوری‌که ثابت ویبال (k_{wo}) برای شرایط نگهداری در محیط ($0/09522$ در روز) بیشتر از سه برابر مقدار این ثابت برای نگهداری در شرایط سردخانه ($0/03001$ در روز) محاسبه شد؛ نتایج حاصل از برازش مدل‌های مختلف نشان داد که بهترین مدل برای پیش‌بینی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراژ در شرایط نگهداری سردخانه‌ای، یخچالی و محیط به ترتیب مدل‌های درجه اول (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/981$ و $0/142$)، درجه دو (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/999$ و $0/041$) و درجه اول (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/978$ و $0/101$) می‌باشد. مدل‌های ویبال، درجه اول و ویبال نیز بهترین پیش‌بینی از تغییرات pH را برای شرایط نگهداری سردخانه‌ای، یخچالی و محیط داشت. Amodio و همکاران (2012) مدل درجه اول را به‌عنوان بهترین مدل در پیش‌بینی تغییرات خصیصه‌های شیمیایی گزارش نمودند. در نهایت مدل‌های درجه دو (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/992$ و $0/083$)، درجه دو (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/997$ و $0/072$) و درجه اول (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/978$ و $0/126$) بهترین توصیف را برای داده‌های شاخص رسیدگی به ترتیب در شرایط نگهداری سردخانه‌ای، یخچالی و محیط داشت. همانطور که مشاهده

ضرایب معادلات سینتیکی (پارامترهای مدل) به‌همراه پارامترهای دقت مدل‌سازی در جداول 2 و 3 نشان داده شده است و بهترین مدل جهت پیش‌بینی تغییرات سینتیکی با کمک معیارهای R^2 ، $Adj. R^2$ و RMSE انتخاب گردید. همانطور که در جدول مشاهده می‌گردد، دو مدل درجه اول و ویبال دارای بیشترین ضریب R^2 و $Adj. R^2$ و کمترین RMSE است و در نتیجه بهترین توصیف را از رفتار سینتیکی خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی طی زمان نگهداری در شرایط مختلف دارند. مدل درجه اول اغلب برای توصیف تغییرات سینتیکی خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی بهترین مدل می‌باشد (Nannyonga et al., 2016)، همچنین محققان زیادی با استفاده از مدل ویبال نشان دادند که این مدل نسبت به سایر مدل‌ها دارای انعطاف‌پذیری بالایی جهت مدل‌سازی تغییرات سینتیکی هستند (Cardenas-Perez et al., 2017; Amodio et al., 2013;) (Quevedo et al., 2009; Di'az et al., 2009).

نتایج برازش مدل‌های مختلف بر تغییرات افت وزن زالک طی نگهداری در شرایط مختلف نشان داد که مدل درجه اول (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/996$ و $0/091$)، مدل درجه اول (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/996$ و $0/087$) و مدل درجه صفر (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/985$ و $0/121$) بهترین پیش‌بینی این تغییرات طی نگهداری در سردخانه، یخچال و محیط را داشت؛ مقادیر بالاتر k حاصل از مدل‌های مختلف در شرایط نگهداری در محیط نسبت به یخچال و یخچال نسبت به سردخانه نشان دهنده شیب بیشتر نمودار است که سبب رخداد سریع‌تر تغییرات می‌گردد. نتایج حاصل از برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های تجربی حاکی از برتری مدل ویبال تحت شرایط مختلف نگهداری است. به‌طوری‌که میزان ضریب تبیین و RMSE برای شرایط نگهداری در سردخانه، یخچال و محیط به ترتیب برابر $0/993$ و $0/074$ ، $0/992$ و $0/072$ ، $0/982$ و $0/121$ بود. مقدار k_{wo} برابر $-0/01036$ ، $-0/01272$ و $0/03820$ نیز به ترتیب برای شرایط نگهداری در سردخانه، یخچال و محیط بدست آمد که نشان دهنده روند کاهش سفتی بافت و نیز سرعت بیشتر این کاهش سفتی بافت در شرایط محیط نسبت به یخچالی و یخچالی نسبت به سردخانه است. نتایج برازش خصیصه‌های رنگی با مدل‌های سینتیکی مختلف نشان داد که مدل درجه دو (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/992$ و $0/083$)، مدل ویبال (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/959$ و $0/278$) و مدل ویبال (ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر $0/963$ و $0/174$) بهترین توصیف از خصیصه L^* به ترتیب برای شرایط نگهداری در سردخانه، یخچال و محیط داشتند. این درحالی است که مدل ویبال و تبدیل جزء به‌عنوان بهترین مدل در توصیف تغییرات خصیصه‌های a^* و b^* انتخاب گردید. مقدار ضریب تبیین و RMSE مدل ویبال برای خصیصه a^* برای شرایط نگهداری در سردخانه،

تغییرات حاصل از مدل درجه اول می‌توان نیمه عمر تغییرات کیفی مختلف را محاسبه نمود (جدول 4). نیمه عمر در حقیقت مدت زمانی است که طول می‌کشد تا یک خصیصه 50 درصد کاهش یا افزایش یابد. نیمه عمر اطلاعات جامعی از تغییرات خصیصه‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی در اختیار قرار می‌دهد.

گردید، مدل‌های سینتیکی توانستند با موفقیت و دقت نسبتاً بالایی تغییرات فیزیکی و شیمیایی زالزالک را طی نگهداری در شرایط مختلف پیش‌بینی نمایند. از آنجایی که مدل درجه اول توصیف نسبتاً خوبی برای همه خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی داشت؛ با کمک ثابت سرعت

جدول 4- نیمه عمر ($t_{1/2}$) بر اساس خصوصیت فیزیکی و شیمیایی.

خصیصه فیزیکی و شیمیایی	نیمه عمر (روز)	
	سردخانه	یخچال
WL	7/19	6/61
F	81/35	67/97
TSS	42/39	35/17
TA	35/12	22/75
RPI	98/38	73/94

نگهداری در سردخانه 81/35 روز است در حالی که نیمه عمر این خصیصه در شرایط نگهداری محیط 25/47 روز می‌باشد. علت اعداد متفاوت برای نیمه عمر خصیصه افت وزن نیز به سبب عدم برازش مناسب مدل درجه اول با داده‌های تجربی است.

همان‌طور که در جدول 4 مشاهده می‌گردد، نیمه عمر بسته به نوع خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بین 7/19 تا 98/38 روز متغیر است و با افزایش دمای نگهداری (شرایط نگهداری در محیط) نیمه عمر نیز کاهش پیدا می‌کند؛ به‌عنوان مثال نیمه عمر تغییرات بافتی در شرایط

جدول 5- اطلاعات رگرسیونی برازش معادله آرنیوس (مدل وابستگی دمایی) برای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی	$k_{1\text{°C}}$ (در روز)	Ea(j/mol)	R ²
WL	0/09514	73241/2	0/8213
L*	-0/00620	21423/2	0/8754
a*	0/01431	72321/5	0/9693
b*	-0/02031	43265/1	0/8754
ΔE	-0/00439	59321/9	0/8341
h*	-0/02271	62391/4	0/9645
C*	0/00032	51092/5	0/8145
F	-0/00849	68432/1	0/9723
TSS	0/01630	67241/2	0/9894
TA	-0/01981	58241/2	0/9782
RPI	-0/00701	67342/9	0/9862
pH	0/00374	21328/4	0/8439

دمای خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی به کار برده شد تا مقادیر انرژی فعال‌سازی (Ea) طی نگهداری تعیین شود (جدول 5). همچنین با استفاده از یک مدل غیرخطی مقادیر k در دمای مرجع 1 درجه سانتی‌گراد نیز محاسبه شد. انرژی فعال‌سازی بیشتر نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نرخ واکنش به دما است. ضرایب R² بیشتر از

از نتایج فوق می‌توان دریافت که در شرایط مختلف نگهداری، بین میزان ثابت واکنش (k) برای خصیصه‌های مختلف اختلاف وجود دارد. به منظور ارزیابی رابطه بین ثابت واکنش و دمای نگهداری، از برازش این داده‌ها با مدل آرنیوس و با کمک روش رگرسیونی غیرخطی استفاده شد. معادله آرنیوس برای سینتیک تغییرات وابسته به

مدل‌ها از رفتار سینتیکی خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی طی زمان نگهداری در شرایط مختلف می‌باشد. در این میان دو مدل درجه اول و ویبال دارای بیشترین ضریب R^2 و $Adj. R^2$ و کمترین RMSE بودند و در نتیجه بهترین مدل برای برازش داده‌های اکثر خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی انتخاب گردید. مقدار مطلق ثابت سرعت (k) در تمامی مدل‌ها و برای همه خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی در شرایط نگهداری محیط بزرگتر از شرایط نگهداری یخچالی و آن نیز بزرگتر از شرایط نگهداری در سرخانه بود که نشان‌دهنده سرعت بیشتر تغییرات و نیز شیب بیشتر نمودار تغییرات طی نگهداری محیط نسبت به یخچالی و آنهم نسبت به سردخانه‌ای است. در ادامه نیمه عمر بر اساس هریک از خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی و با استفاده از ثابت سرعت معادله درجه اول محاسبه گردید. و وابستگی دمایی با معادله آرنیوس مشخص گردید.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر حاصل بخشی از طرح‌های پژوهشی مصوب گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه زنجان مورخ 1398/02/30 با عنوان "استفاده از سیستم ماشین بینایی (CVS) جهت طبقه‌بندی، شناسایی، بررسی تغییرات طی نگهداری، رسیدگی و فرآوری ازگیل، زالک و نخود فرنگی" و مورخ 1398/04/10 با عنوان "خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بصری (پردازش تصویر)، آنروودینامیکی، هیدرودینامیکی میوه‌های ایرانی تحت شرایط مختلف فرآوری و نگهداری" می‌باشد.

0/9645 خصیصه‌های a^* ، h^* ، F، TSS، TA و RPI نشان‌دهنده مناسب بودن معادله آرنیوس برای نشان دادن وابستگی دمایی است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که خصیصه‌های نظیر افت وزن، pH، میزان مواد جامد، خصیصه‌های a^* و C^* با گذشت زمان نگهداری و تغییر شرایط نگهداری بطور معناداری ($p < 0.05$) افزایش می‌یابد؛ که این افزایش برای شرایط نگهداری در محیط نسبت به یخچالی و آن هم نسبت به شرایط نگهداری در سردخانه به‌طور معناداری ($p < 0.05$) بیشتر است. علت این امر نیز دمای بالاتر و رطوبت کمتر در شرایط نگهداری محیط است که باعث تسریع تغییرات بعدی می‌گردد؛ این در حالی است که سایر خصیصه‌ها نظیر سفتی بافت، خصیصه‌های L^* ، b^* ، h^* ، ΔE ، TA و RPI با تغییر زمان و شرایط نگهداری، به‌طور معناداری ($p < 0.05$) افزایش یافت. این نتایج همچنین نشان داد که همبستگی بین خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی وجود دارد. نتایج بررسی تغییرات خصیصه‌های هندسی طی نگهداری بیانگر این مطلب بود که اگرچه تغییرات برخی از خصیصه‌های هندسی نظیر قطر میانگین هندسی (Dg)، تغییرات قطر اصلی (MDC) و ضریب کرویت (ϕ) معنادار ($p < 0.05$) بود ولی با این وجود خصیصه‌های هندسی معیار قدرتمند و مناسبی برای بررسی تغییرات طی نگهداری زالک نمی‌باشد. نتایج برازش مدل‌های سینتیکی مختلف بر داده‌های تجربی بیانگر توصیف مناسب این

منابع

- Afsharnia, F., Mehdizadeh, S., Ghaseminejad, M., & Heidari, M. (2017). The effect of dynamic loading on abrasion of mulberry fruit using digital image analysis. *Information Processing In Agricultrale*, 4, 291-299.
- Amodio, M., Derossi, A., & Colelli, G. (2013). Modelling sensorial and nutritional changes to better define quality and shelf life of fresh-cut melons. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(1), 38-45.
- Amodio, M., Dollo, L., Rinaldi, R., & Colelli, G. (2012). Degradation patterns for external and nutritional quality parameters of fresh-cut "Cantaloupe" melons. *Acta Horticulturae*, 948, 641-648.
- Aral, S., & Vildan Bese, A. (2016). Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus spp.*): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food Chemistry*, 210, 577-584.
- Arzate-Vazquez, I., Chanona-Perez, J., Perea-Flores, M., Calderon-Dominguez, G., Moreno-Armendariz, M., & Gutierrez-Lopez, G. (2011). Image processing applied to classification of avocado variety Hass (*Persea americana* Mill) during the ripening process. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 1307-1313.
- Ashournezhad, M., & Ghasemnezhad, M. (2012). Effects of cellophane-film packaging and cold storage on the keeping quality and storage life of loquat fruit (*Eriobotrya japonica*). *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7(2), 95-102.
- Avila, I., & Silva, C. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Engineering*, 39(2), 161-166.
- Billy, L., Mehinagic, E., Royer, G., Renard, C., Arvisenet, G., & Prost, C. (2008). Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 315-324.
- Cardenas-Perez, S., Chanona-Perez, J., Mendez-Mendez, J., Calderon-Dominguez, G., Lopez-Santiago, R., Perea-Flores, M., & Arzate-Vazquez, I. (2017). Evaluation of the ripening stages of apple (*Golden Delicious*) by means of computer vision system. *Biosystems Engineering*, 159, 46-58.
- Chen, C., & Ramaswamy, H. (2002). Color and Texture Change Kinetics in Ripening Bananas. *LWT- Food Science and Technology*, 35(5), 415-419.

- Chowdhury, S., & Das Saha, P. (2011). Comparative analysis of linear and nonlinear methods of estimating the pseudo-second-order kinetic parameters for sorption of malachite green onto pretreated rice husk. *Bioremediation Journal*, 15, 181-188.
- Corradini, M., & Peleg, M. (2007). A Weibullian model for microbial injury and mortality. *International Journal of Food Microbiology*, 119(3), 319-328.
- Derili gharjalar, S., Hassanpour, H., & Farokhzad, A. (2017). Pomological characteristics of some hawthorn genotypes in West Azerbaijan province. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(3), 689-700.
- Dhakala, S., Balasubramaniam, V., Ayvaza, H., & Rodriguez-Saona, L. (2018). Kinetic modeling of ascorbic acid degradation of pineapple juice subjected to combined pressure-thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 224, 62-70.
- Distefano, G., Casas, G., Caruso, M., Todaro, A., Rapisarda, P., Malfa, S., & Tribulato, E. (2009). Physiological and molecular analysis of the maturation process in fruits of clementine mandarin and one of its late-ripening mutants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 7974-7982.
- Froehlicher, T., Hennebelle, T., Martin-Nizard, F., Cleenewerck, P., Hilbert, J., Trotin, F., & Grec, S. (2009). Phenolic profiles and antioxidative effects of Hawthorn cell suspensions, fresh fruits, and medicinal dried parts. *Food Chemistry*, 15, 897-903.
- Gordon, E., & Barrett, D. (2012). Pectin methylesterase activity and other factors affecting pH and titratable acidity in processing tomatoes. *Food Chemistry*, 132, 915-920.
- Guadarrama, A., & Andrade, S. (2012). Physical, chemical and biochemical changes of Sweetsop (*Annona squamosa* L.) and golden apple (*Spondias citherea* Sonner) fruits during ripening. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2012, 1148-1157.
- Gupte, S., El-Bisi, H., & Francis, F. (1964). Kinetics of thermal degradation of chlorophyll in spinach puree. *Journal of Food Science*, 29(4), 379-382.
- Hashim, N., Janius, R., Baranyai, L., Rahman, R., Osman, A., & Zude, M. (2012). Kinetic model for colour changes in bananas during the appearance of chilling injury symptoms. *Food and Bioprocess Technology*, 2952-2963.
- Helrich, K. (1990). AOAC Official Methods of Analysis. *Official Methods of Analysis of the AOAC International*.
- Jahangiri-Saleh, M., Hassan-Beygi, S., Aboonajmi, M., & Lotfi, M. (2017). Prediction of cucumber acoustic response, crispness index and firmness using artificial neural networks. *Food Science and Technology*, 14, 265-276.
- Johnson, J., Bomser, J., Scheerens, J., & Giusti, M. (2011). Effect of black raspberry (*Rubus occidentalis* L.) extract variation conditioned by cultivar, production site, and fruit maturity stage on colon cancer cell proliferation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 1638-1645.
- Khoshtam, F., Tabatabaefar, A., Ghasemi Varnamkhasti, M., & Borghei, A. (2007). Mass modeling of pomegranate fruit with some physical characteristics. *Scientia Horticulturae*, 114(1), 21-26.
- Kirakosyan, A., Seymour, E., Kaufman, P., Warber, S., Bolling, S., & Chang, S. (2003). Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and *Crataegus monogyna* (hawthorn) subjected to drought and cold stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3973-3976.
- Kwok, C.-Y., Wong, C. N.-Y., Yau, M. Y.-C., Poon, C.-W., Seto, S.-W., Lam, T.-Y., & Chan, S.-W. (2010). Consumption of dried fruit of *Crataegus pinnatifida* (hawthorn) suppresses high-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia in rats. *Journal of Functional Foods*, 2(3), 179-186.
- Labuza, P. (1979). A Theoretical Comparison of Losses in Foods under Fluctuating Temperature Sequences. *Journal of food science*, 44(4), 1162-1168.
- Levenspiel, O. (1972). Interpretation of batch reactor data. In *Chemical Reaction Engineering* (second ed., pp. 41-47). New York.
- Li, W.-Q., Hu, Q.-P., & Xu, J.-G. (2015). Changes in physicochemical characteristics and free amino acids of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) fruits during maturation. *Food Chemistry*, 175, 50-56.
- Liu, J.-L., Yuan, J.-F., & Zhang, Z.-Q. (2010). Microwave-assisted extraction optimised with response surface methodology and antioxidant activity of polyphenols from hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.) fruit. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(11), 2400-2406.
- Liu, P., Kallio, H., Lv, D., Zhou, C., Ou, S., & Yang, B. (2010). Acids, sugars, and sugar alcohols in Chinese hawthorn (*Crataegus* spp.) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 1012-1019.
- Liu, S., Chang, X., Liu, X., & Shen, Z. (2016). Effects of pretreatments on anthocyanin composition, phenolics contents and antioxidant capacities during fermentation of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) drink. *Food Chemistry*, 212, 87-95.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
- Mohammadi, V., Kheiralipour, K., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2015). Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. *Scientia Horticulturae*, 184, 123-128.

- Nannyonga, S., Bakalis, S., Andrews, J., Mugampoza, E., & Gkatzionis, K. (2016). Mathematical modelling of color, texture kinetics and sensory attributes characterisation of ripening bananas for waste critical point determination. *Journal of Food Engineering*, 190(5), 205-210.
- Nisha, P., Singhal, R., & Pandit, A. (2005). study on degradation kinetics of riboflavin in spinach (*Spinacea oleracea* L.). *Journal of Food Engineering*, 67(4), 407-412.
- Nordey, T., Léchaudel, M., Génard, M., & Joas, J. (2014). Spatial and temporal variations in mango colour, acidity, and sweetness in relation to temperature and ethylene gradients within the fruit. *Journal of Plant Physiology*, 171(17), 1555-1563.
- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martin-Belloso, O. (2009). Influence of storage temperature on the kinetics of the changes in anthocyanins, vitamin c, and antioxidant capacity in fresh-cut strawberries stored under high-oxygen atmospheres. *Journal of Food Science*, 74, 184-191.
- Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martin-Belloso, O. (2009). Use of Weibull distribution for describing kinetics of antioxidant potential changes in fresh-cut watermelon. *Journal of Food Engineering*, 95, 99-105.
- Ozcan, M., Haciseferogulları, H., Marakoglu, T., & Arslan, D. (2005). Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering*, 69, 409-413.
- Paull, R. (1999). Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology And Technology*, 15(3), 263-277.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E., & Silva, C. (2013). Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (*Solanum lycopersicum*, cv. 'Zinac') during storage. *Journal of Food Engineering*, 114, 338-345.
- Pittler, M., Schmidt, K., & Ernst, E. (2003). Hawthorn extract for treating chronic heart failure: Meta-analysis of randomized trials. *The American Journal of Medicine*, 114, 665-674.
- Qi, X., Li, Z., & Xu, S. (2005). Relationship between soluble sugars and peel pigments in hawthorn fruit. *Journal of Fruit Science*, 22(1), 81-83.
- Quevedo, R., Di'az, O., Ronceros, B., Pedreschi, F., & Aguilera, J. (2009). Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa cavendish*) slices using non-uniform color information from digital images. *Food Research International*, 42, 1309e1314.
- Quevedo, R., Diaz, O., Caqueo, A., Ronceros, B., & Aguilera, J. (2009). Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L* color information from digital images. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1367-1373.
- Razavi, F., Roghayeh, M., Rabiei, V., Soleimani Aghdam, M., & Soleimani, A. (2018). Glycine betaine treatment attenuates chilling injury and maintains nutritional quality of hawthorn fruit during storage at low temperature. *Scientia Horticulturae*, 233, 188-194.
- Remini, H., Mertz, C., Belbahi, A., Achir, N., Dornier, M., & Madani, K. (2015). Degradation kinetic modelling of ascorbic acid and colour intensity in pasteurised blood orange juice during storage. *Food Chemistry*, 173, 665-673.
- Rigelsky, J., & Sweet, B. (2002). Hawthorn: pharmacology and therapeutic uses. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 59(5), 417-22.
- Rodrigues, S., Calhelha, R., Barreira, J., Duenas, M., Carv-alho, A., Abreu, R., & Ferreira, I. (2012). *Crataegus monogyna* buds and fruits phenolic extracts: growth inhibitory activity on human tumour cell lines and chemical characterization by HPLC-DAD-ESI/MS. *Food Research International*, 49, 516-523.
- Rop, O., Sochor, J., Jurikova, T., Zitka, O., Skutkova, H., Mlcek, J., & Kizek, R. (2011). Effect of five different stages of ripening on chemical compounds in medlar (*Mespilus germanica* L.). *Molecules*, 16, 74-91.
- Salam, O., Sleem, A., & Shafee, N. (2012). Effect of *Crataegus* extract on carbon tetrachloride-induced hepatic damage. *Comparative Clinical Pathology*, 21, 1719-1726.
- Salvador, A., Arnal, L., Besada, C., Larrea, V., Quiles, A., & Pérez-Munuera, I. (2007). Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante'. *Postharvest Biology Technology*, 46, 181-188.
- Sessiz, A., Esgici, R., & Kizil, S. (2007). Moisture-dependent physical properties of caper (*Capparis* ssp.) fruit. *Journal of Food Engineering*, 79, 1426-1431.
- Shin, S., & Bhowmik, S. (1995). Thermal kinetics of color changes in pea puree. *Journal of Food Engineering*, 24(1), 77-86.
- Singh, D., Goswami, T., & Chourasia, M. (2006). Physical properties of two popular Indian potato varieties. *Journal of Food Process Engineering*, 21, 301-316.
- Tankanowa, R., Tamer, H., Streetman, D., Smith, S., Welton, J., Annesley, T., & Bleske, B. (2003). Interaction study between digoxin and a preparation of Hawthorn (*Crataegus oxyacantha*). *The Journal of Clinical Pharmacology*, 43(6), 637-642.

- Vélez-Rivera, N., Blasco, J., Chanona-Pérez, J., Calderón-Domínguez, G., Perea-Flores, M., Arzate-Vázquez, I., & Farrera-Rebollo, R. (2014). Computer Vision System Applied to Classification of “Manila” Mangoes During Ripening Process. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 1183–1194.
- Wan, P., Toudeshki, A., Tana, H., & Ehsani, R. (2018). A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 146, 43-50.
- Wang, J. (2004). Mechanical properties of pear as a function of location and orientation. *International Food Properties*, 7, 155–164.
- Wanitchang, J., Terdwongworakul, A., Wanitchang, P., & Noypitak, S. (2010). Maturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*. *Journal of Food Engineering*, 100, 409–416.
- Weemaes, C., Ooms, V., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (1999). Kinetics of chlorophyll degradation and color loss in heated broccoli juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(6), 2404–2409.
- Zhang, Z., Ho, W., Huang, Y., & Chen, Z. (2002). Hypocholesterolemic activity of hawthorn fruit is mediated by regulation of cholesterol-7 α hydroxylase and acylCoA: Cholesterol acyltransferase. *Food Research International*, 35, 885–891.
- Zheng, H., Kim, Y., & Chung, S. (2012). A profile of physicochemical and antioxidant changes during fruit growth for the utilisation of unripe apples. *Food Chemistry*, 131, 106–110.

Evaluation of physicochemical characterization of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) during various storage conditions and modeling of changes using kinetic models

M. Zandi^{1*}, A. Ganjloo², M. Bimakr²

Received: 2019.09.01

Accepted: 2019.12.01

Introduction: Hawthorn (*Crataegus pinnatifida*), belonging to the Rosaceae family, consists of small trees and shrubs. The color of the ripe fruit varied from yellow, through green to red and on to dark purple. Most of the species ripen their fruit in early to mid-autumn. Beneficial effects of hawthorn fruit extracts have been confirmed by various studies. Pharmacological data showed that hawthorn fruit and its preparations enhance myocardial contraction and conductivity, protect against ischemia. They have a sedative action, a protective effect against arrhythmia and increase of coronary vessel flow. They have also positive effects on the cardiovascular system. Hawthorn is one of the most widely consumed horticultural products, either in fresh or processed form. It is also an important component of many processed food products because of its excellent flavor, attractive color and high content of many macro- and micro-nutrients. Uncertain storage conditions lead to considerable quality loss in hawthorn fruits, which affect their consumer acceptability. Properties such as color, firmness and moisture provide valuable information for the monitoring of quality changes in postharvest fruits because of their reliability and rapid and easy measurement. These changes are consequences of many biochemical and physiological processes that occur during fruit ripening, such as respiration and transpiration. In addition, these changes depend on the external conditions to which the fruit is exposed. To estimate changes in fruit quality as a function of storage conditions, the evolution of certain quality-indicative properties such as color, firmness or weight can be used to provide related information on the quality grade of the product stored. Kinetic models can be used as tools to describe quantitative physicochemical changes in foods during processing. Kinetic models can be linear or non-linear forms of rate law equations. The rate process of food constituents is usually defined by zero, first or second order kinetics.

Method and material: In this study, changes in physicochemical characteristics associated with fruit quality were investigated during various hawthorn fruit storage conditions include: cold (1°C and RH=90%), refrigerator (10 °C and RH=85%) and room conditions (25 °C and RH=60%). Color quality parameters (L^* , a^* , b^* , C^* , h^* and ΔE), geometrical parameters, weight loss, firmness, total soluble solid (TSS), pH, titratable acidity (TA) and ripening index (RPI) were the measured factors. Different mathematical models were successfully proposed and adjusted to represent the change in physicochemical properties as a function of storage temperature. Among various kinetics model, five models (Zero-order, First-order, Second-order, Fractional conversion and Weibull models) were fitted to experimental data and model parameters in equations were determined by multiple regression analysis.

Result and discussion: Storage of hawthorn fruits at different temperature affected their color (L^* , a^* , b^* , C^* , h^* and ΔE), geometrical, physical (weight loss, firmness) and chemical properties (TSS, pH, TA and RPI). Storage at all conditions had significant impact on the physicochemical parameters analyzed (except some geometrical characteristics). Significant alterations in hawthorn color, firmness and weight loss were observed. The firmness, titratable acidity, pH, ripening index, color characteristics (except a^* and C^*) decreased while weight loss, total soluble solid, a^* and C^* increased significantly ($p < 0.05$). Hawthorn stored at low temperatures revealed a delay on quality reduction reactions in terms of color, firmness and weight loss. The results indicated that the First-order and Weibull kinetic models provided the best prediction of the changes in physicochemical parameters. The storage temperature effect was successfully described by the Arrhenius law. Understanding the mechanisms in which these conditions affect the quality changes processes is of great importance because it allows their appropriate modification to maintain quality and maximize storage time. The outcomes of this study provide additional and useful information for hawthorn fruits under various storage conditions.

Keywords: Hawthorn, Storage conditions, Kinetic modeling, Arrhenius model, Physicochemical characteristics.

1. Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2. Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(* Corresponding author. E-mail: zandi@znu.ac.ir)

مقاله علمی - پژوهشی

تولید شکلات حبابداری و استفاده از مقطع‌نگاری اشعه X و پردازش تصویر در بررسی ویژگی‌های حباب‌ها

مسیح سرفرازی¹ - محبت مجبی^{2*} - مهدی سعادت‌مند طرزجان³ - علی میرشاهی⁴

تاریخ دریافت: 1398/08/06

تاریخ پذیرش: 1398/08/18

چکیده

در این مطالعه، شکر با مخلوط اینولین: مالتودکسترین در نسبت‌های (CH₂) 75:25، (CH₃) 50:50 و (CH₄) 25:75 جایگزین شد. سپس گاز دی‌اکسید کربن در فشار 6 بار به این سه شکلات علاوه بر شکلات حاوی شکر (CHI) تزریق شد تا شکلات حبابداری تولید شود. با استفاده از مقطع‌نگاری اشعه X از شکلات‌های حبابداری تصویربرداری شد و پس از پردازش، تصاویر به دست آمده با استفاده از روش چان-وز تقطیع شدند؛ یعنی، حباب‌ها از سایر قسمت‌های تصویر جدا شدند. ویژگی‌های حباب‌ها که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند عبارت بودند از: حجم کل، قطر و نسبت سطح به حجم. همچنین، بلورینگی، چگالی و سختی شکلات‌ها نیز با هم مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که روش چان-وز توانست نوبزهای موجود در تصویر را حذف کند. همچنین، نتایج پراش اشعه X نشان داد که نمودار CH₃ قله‌های تیزتری نسبت به CH₂ و CH₄ دارد که این نشانی از بلورینگی بیشتر آن بود. میانگین قطر حباب‌های CHI بیشتر از سایر نمونه‌ها بود که دلیل آن را می‌توان به بلورینگی بیشتر آن در مقایسه با نمونه‌های بدون شکر نسبت داد؛ زیرا ساختار متبلور CHI از خروج گاز جلوگیری کرده و موجب به هم پیوستن حباب‌های کوچک و تشکیل حباب‌های بزرگتر شده است. همچنین، مشاهده شد که در تمام شکلات‌ها، چگالی شکلات حبابداری کمتر از شکلات بدون حباب است؛ زیرا بخشی از مواد جامد و چربی با گاز دی‌اکسید کربن جایگزین شد. نتایج اندازه‌گیری سختی نیز نشان داد که نمونه‌های بدون شکر حبابداری از نمونه‌های بدون گاز نرمتر بودند ولی در مورد CHI عکس این پدیده مشاهده شد که دلیل آن را می‌توان به حضور شکر در این نمونه نسبت داد؛ زیرا در محصولات حبابداری، ذرات جامد، به ویژه شکر، یک اسکلت پیوسته را تشکیل می‌دهند و همان نقشی را ایفا می‌کنند که چربی در محصولات بدون حباب بازی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اینولین، مالتودکسترین، مقطع‌نگاری اشعه X، پراش اشعه X، چان-وز، سختی.

مقدمه

(2006). در عین حال، هر 100 گرم شکر آسیاب شده 394 کیلوکالری انرژی تولید می‌کند (Aidoo et al., 2015) و مصرف زیاد شکلات منجر به پوسیدگی دندان، دیابت و چاقی می‌شود (Pandey and Singh, 2011)؛ بنابراین، امروزه مصرف‌کنندگان به میزان فزاینده‌ای نگران شکر موجود در شکلات و محتوای انرژی آن هستند (Aidoo et al., 2013). می‌توان این مشکل را از طریق جایگزین کردن شکر با شیرین‌کننده‌های توده ای⁵ (مغذی) و/یا فیبرهای رژیمی برطرف کرد. شیرین‌کننده‌های توده‌ای شامل قند-الکل‌ها (پلی-ال‌ها) می‌باشند که عبارتند از: سوربیتول، زایلیتول،

شکلات سوسپانسیونی از ذرات جامد، شامل شکر، پودر کاکائو و پودر شیر (بسته به نوع شکلات) در فاز چربی، شامل کره کاکائو یا جایگزین‌های آن می‌باشد. ذرات جامد و چربی به ترتیب تقریباً 70 و 30 درصد جرم شکلات را به خود اختصاص می‌دهند. شکلات اساساً به سه دسته تیره، شیرین و سفید تقسیم می‌شود (Afoakwa et al., 2007). شکر تقریباً 40-50 درصد ذرات جامد شکلات را به خود اختصاص می‌دهد؛ در نتیجه، اثر به‌سزایی بر روی شیرینی، توزیع اندازه ذرات و خواص رئولوژیکی و حسی آن دارد (Sokmen and Gunes,

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

1 و 2- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

3- دانشیار، گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

4- دانشیار، گروه علوم درمانگاهی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه فردوسی مشهد.

می‌شود. حباب‌ها معمولاً با چشم دیده می‌شوند و میانگین قطر آنها در بازه 3-0/05 mm قرار می‌گیرد (Peters, 2017). در شرایط ایده‌آل، اندازه حباب‌ها باید یکسان باشد (Haedelt, 2005). چنین محصولی را می‌توان تحت خلاء یا فشار بالا تولید کرد. همچنین، می‌توان تزریق گاز را از طریق اکستروژن شکلات نیمه‌جامد یا جامد انجام داد. جزء حجمی گاز و توزیع اندازه حباب‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های این شکلات‌ها می‌باشند. این ویژگی‌ها اثر قابل ملاحظه‌ای بر هزینه‌های تولید و ویژگی‌های حسی این محصولات دارند؛ بنابراین، باید در حین تولید و به صورت برخط مورد نظارت و ارزیابی قرار گیرند. روش‌های رایج نظارت بر توزیع اندازه حباب‌ها در این محصولات شامل برداشتن محصول از خط تولید، شکستن آنها و مشاهده توزیع اندازه حباب‌ها می‌باشد. این روش از حالت ایده‌آل فاصله بسیار زیادی دارد؛ زیرا بررسی حباب‌ها کاملاً سلیقه‌ای می‌باشد. به همین دلیل، به روشی نیاز است که بتواند بر توزیع اندازه حباب‌ها به صورت روی خط نظارت کند تا بدین طریق فرایند تولید بهینه‌سازی، یکنواختی محصول حفظ و میزان ضایعات آن کمینه شود (Watson et al., 2014).

با وجود مزایای بسیار زیاد، روش‌های تصویربرداری³ معایبی هم دارند که نباید آنها را نادیده گرفت. پیش از همه، بسیاری از این روش‌ها به آماده‌سازی نمونه احتیاج دارند که این امر ممکن است نتایج غیرواقعی را با خود به دنبال داشته باشد. این جنبه باید در نظر گرفته شود تا از نتیجه‌گیری‌های اشتباه در بررسی ریزساختار جلوگیری شود؛ به علاوه، برخی روش‌های تصویربرداری، به دلیل استفاده از تجهیزات پیچیده، هزینه بسیار بالایی دارند و از آنها فقط در مواد غذایی گران قیمت می‌توان استفاده کرد (Falcone et al., 2004). مقطع‌نگاری اشعه X (CT⁴) یک روش تصویربرداری سه بعدی است که تصاویری از مقاطع عرضی نمونه تهیه می‌کند. این روش برای بصری‌سازی و اندازه‌گیری غیرمخرب ریزساختار مواد به کار می‌رود. در این روش، مجموعه‌ای از رادیوگراف‌های یک نمونه، با استفاده از اشعه X از زوایای مختلف تهیه می‌شود تا برای بازسازی سه بعدی ریزساختار ماده استفاده شود.

هدف از این پژوهش تولید شکلات بدون شکر حبابدار با استفاده از اینولین و مالتودکسترین، به‌عنوان جایگزین‌های شکر، و گاز دی‌اکسید کربن می‌باشد. همچنین، در این مطالعه، از مقطع‌نگاری اشعه X و پردازش تصویر برای بررسی توزیع

اریتریتول، لاکتیتول، مانیتول، ایزومالت و مالتیتول. تری هالوز، تاگاتوز و ایزومالتوز نیز از نظر عملکرد شبیه قند-الکل‌ها هستند ولی در واقع جزء قندها دسته‌بندی می‌شوند و قند-الکل نیستند (Afoakwa et al., 2007; Aidoo et al., 2013). فیبرهای رژیمی، کربوهیدرات‌هایی با منشأ گیاهی، به ندرت در روده کوچک انسان جذب می‌شوند؛ در عین حال، فلور طبیعی روده بزرگ می‌تواند آن‌ها را تخمیر کند. ادعا می‌شود که این ترکیبات موجب ارتقاء سلامتی انسان می‌شوند؛ به همین دلیل، غذاهای سرشار از فیبرهای رژیمی طی سال‌های اخیر توجه مصرف‌کنندگان را به خود جلب کرده‌اند. خواص سلامتی بخشی این ترکیبات عبارتند از: محتوای انرژی زایی پایین، جلوگیری از یبوست، کاهش خطر سرطان روده بزرگ، بیماری‌های قلبی و کلسترول خون (Erдем et al., 2014; Shoaib et al., 2016). اینولین، مالتودکسترین، پلی‌دکستروز و کربوکسی‌میتیل سلولز از رایج‌ترین فیبرهای رژیمی هستند که به مواد غذایی، از جمله شکلات، افزوده می‌شوند. به دلیل شدت کمتر شیرینی این ترکیبات نسبت به شکر، باید آنها را در شکلات با یک شیرین‌کننده شدید¹ (غیرمغذی) مثل سوکرالوز یا استویا همراه کرد که صدها تا هزاران برابر شیرین تر از شکر می‌باشند.

حباب‌ها در بسیاری از محصولات غذایی از جمله کیک‌ها، شکلات‌ها و نوشیدنی‌ها یافت می‌شوند. آنها اگرچه به ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی نمی‌افزایند، ویژگی‌های بافتی مواد غذایی و احساس دهانی حاصل از خوردن آنها را تغییر می‌دهند. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به تردی یا خامه‌ای بودن شکلات حبابدار، احساس دهانی سبک² خامه هم‌زده و اسفنجی بودن کیک یا نان اشاره کرد. همچنین، محصولات هوادار در حجم یکسان، انرژی کمتری نسبت به محصولات مشابه دارند و می‌توان از این منظر نیز به آنها توجه کرد (Haedelt et al., 2007). به علاوه، حباب‌ها به تنظیم رهایش طعم در دهان نیز کمک می‌کنند (Haedelt et al., 2005). در شکلات‌های معمولی، چربی فاز پیوسته است که تمام اجزاء را در کنار هم نگه می‌دارد ولی در محصولات حبابدار، ذرات جامد، به‌ویژه شکر، با ایجاد یک اسکلت پیوسته، این وظیفه را به عهده دارند. این امر امکان تولید محصولات کم‌چرب را نیز فراهم می‌آورد (Peters, 2017). شکلات حبابدار چگالی کمتری نسبت به شکلات‌های معمولی دارد؛ زیرا بخشی از مواد جامد و چربی با گاز جایگزین می‌شود. این منجر به تولید محصولی با حجم بیشتر در جرم یکسان، بافت نرم‌تر و ذوب سریع‌تر

3 Imaging
4 Computed tomography

1 Intense sweetener
2 Light mouth-feel

تولید شکلات

شکلات شیری بر اساس پژوهش Farzanehmehr و Abbasi (2009) با اندکی تغییر تولید شد. ابتدا CBS در دمای 45°C ذوب شد و سپس پودر کاکائو، شکر یا جایگزین‌های آن و پودر شیر به آن اضافه شدند. پس از اختلاط اولیه، لسیتین نیز به مخلوط فوق اضافه شد. سوکرالوز نیز به‌عنوان شیرین‌کننده در سه نمونه بدون شکر استفاده شد. تمام نمونه‌ها در بهره‌های 10 کیلویی با استفاده از آسیاب ساچمه‌ای کارگاهی (سپهر ماشین، ایران) تهیه شدند. آسیاب مواد با سرعت 100 دور بر دقیقه در دمای 45°C به مدت دو ساعت انجام شد. یک پمپ توده شکلات را با شدت جریان 2-3 کیلوگرم بر دقیقه به گردش در می‌آورد. نسبت‌های جرمی شکر، اینولین و مالتودکسترین در جدول 1 نشان داده شده‌اند.

ویژگی‌های حباب‌ها استفاده شد؛ به‌علاوه، سختی و چگالی شکلات‌های حبابدار و بدون گاز نیز با هم مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

مواد استفاده شده در این پژوهش از شرکت‌های ذیل تهیه شدند: پودر کاکائو (Altinmarka، ترکیه)، جایگزین کره کاکائو (CBS¹) (Fuji Oil Holdings، سنگاپور)، لسیتین سویا (بهپاک بهشهر، ایران)، پودر شیر بی‌چربی (نصر دالیا، ایران)، اینولین تجاری (Frutafit TEX) (Sensus، هلند)، مالتودکسترین تجاری (DE = 14-16) (فرایند بیوتکنولوژی، ایران)، شکر قنادی (ایران شکر، ایران) و سوکرالوز (Tate & Lyle، بریتانیا). ارزیابی حسی اولیه نشان داد (داده‌ها گزارش نشده‌اند) که نمونه‌های حاوی مالتودکسترین با DE = 14-16، در مقایسه با نمونه‌های حاوی مالتودکسترین با DE = 10-12 و DE = 18-20، خواصی حسی بهتری داشتند.

جدول 1-نسبت‌های جرمی شکر، اینولین و مالتودکسترین در نمونه‌های شکلات.

نمونه‌ها	شکر	اینولین	مالتودکسترین
CH1	100	-	-
CH2	-	25	75
CH3	-	50	50
CH4	-	75	25

مخزن به‌وسیله یک پمپ (شماره 10) به گردش در می‌آید. شکلات به داخل مخزن داخلی (شماره 4) ریخته می‌شود. پس از بستن درپوش (شماره 5) و آب بند کردن مخزن داخلی، گاز از طریق لوله (شماره 9) به داخل آن تزریق می‌شود تا فشار داخل مخزن به فشار مد نظر برسد. لازم به ذکر است که یک فشارسنج روی درپوش مخزن داخلی تعبیه شده است تا بتوان فشار داخل مخزن را به‌وسیله آن مشاهده کرد. برای توزیع یکنواخت گاز در شکلات، موتور (شماره 9) - که شافت خروجی آن از قسمت تحتانی وارد مخزن داخلی شده است - به‌طور مداوم شکلات را هم می‌زند. لازم به ذکر است که برای ایجاد جریان متلاطم در شکلات، چند سوراخ بر روی پره‌های (شماره 6) موتور ایجاد شده‌اند. در پایان فرایند، شکلاتی که از گاز اشباع شده است، از طریق شیر تخلیه (شماره 11) با فشار بیش از یک اتمسفر از مخزن داخلی خارج می‌شود. تمامی تجهیزات برقی، اعم از سیم‌های برق پمپ، موتور و گرمکن،

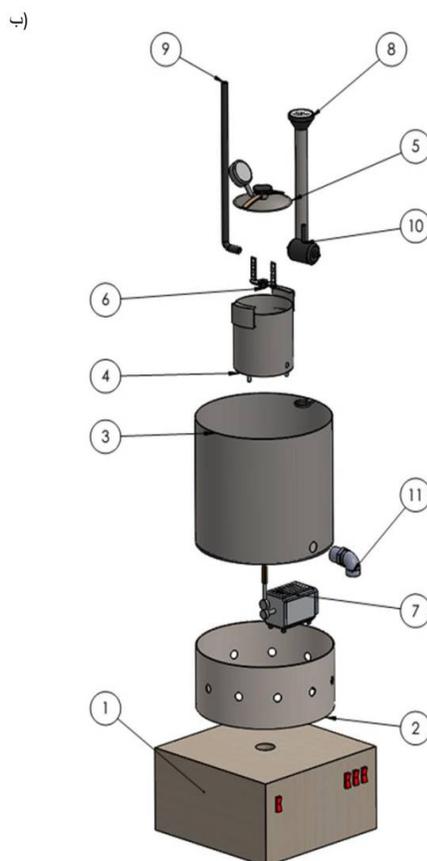
پراش اشعه X

بلورینگی² نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراش اشعه X (Explorer، Analytical Instruments، GNR، ایتالیا) بررسی شد. این دستگاه با تابش $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$) در ولتاژ 40 kV و جریان 30 mA کار می‌کند. زاویه پراش (2θ) در بازه 5-60 درجه در گام‌های 0/05 درجه‌ای در نظر گرفته شد.

تزریق گاز به شکلات

برای این کار یک دستگاه ساخته شد که توصیف آن به شرح ذیل می‌باشد (شکل 1 آ و ب): این دستگاه متشکل از دو مخزن استوانه‌ای استیل 304، یک موتور، یک گرمکن و یک پمپ می‌باشد. مخزن خارجی (شماره 3) نقش یک حمام آب را ایفا می‌کند که دمای آب درون آن به‌وسیله یک گرمکن الکتریکی میله‌ای (شماره 8) افزایش می‌یابد. آب درون این

در جعبه کنترل (شماره 1) قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، گاز دی‌اکسید کربن با فشار 6 بار به نمونه‌های شکلات تزریق شد.



شکل 1- (آ) نقشه سه بعدی و (ب) نقشه انفجاری دستگاه تزریق گاز به شکلات

پردازش و تقطیع تصاویر

این کار با استفاده از نرم‌افزار متلب نسخه R2018b (مثورکس، هلند) به صورت ذیل انجام شد: ابتدا سطوح روشنایی تصویر اولیه (شکل 3-الف) در بازه 0-1 نرمال شدند

مقطع‌نگاری اشعه X

تصاویر مقطع‌نگاری اشعه X از نمونه‌های شکلات با استفاده از دستگاه مقطع‌نگاری فک و صورت (Planmeca Promax، فنلاند) تهیه شدند. یک قالب از هر نمونه جابدار و یک قالب شکلات تجاری برای تصویربرداری استفاده شدند و تصاویر با ولتاژ 90 کیلوولت، شدت جریان 6 میلی‌آمپر و ضخامت مقطع 0/8 میلی‌متر تهیه شدند.

می‌باشند. همان‌طور که می‌دانیم، اگر توزیع داده‌ها نرمال نباشد، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری آنها قابل اعتماد و معتبر نخواهند بود (Granato et al., 2014). بنابراین، به‌منظور مقایسه اندازه قطر حباب‌های نمونه‌های مختلف، ابتدا لگاریتم طبیعی آنها ($\ln D_i$) محاسبه شد و سپس، از آزمون چنددامنه‌ای توکی برای مقایسه میانگین آنها استفاده شد. همچنین، سه پارامتر D_{10} (مقداری که 10% داده‌ها از آن کوچکترند)، D_{50} (مقداری که 50% داده‌ها از آن کوچکترند) و D_{90} (مقداری که 90% داده‌ها از آن کوچکترند) نیز محاسبه و با هم مقایسه شدند.

اندازه‌گیری چگالی

چگالی شکلات جامد حبابدار از طریق روش شناوری⁵ تعیین شد. مقداری شکلات حبابدار در یک ظرف قرار داده شد. سپس ظرف با آب 20°C پر شد. چگالی شکلات حبابدار از فرمول زیر به‌دست آمد:

$$\rho_f = \frac{\rho_w \times m_f}{m_f + m_c - m_a} \quad (3)$$

که در آن ρ_f چگالی شکلات حبابدار (g/cm^3)، ρ_w چگالی آب (g/cm^3)، m_f جرم شکلات حبابدار (g)، m_c جرم ظرف و آب (g) و m_a جرم ظرف، آب و شکلات (g) می‌باشند (Haedelt et al., 2005; Haedelt et al., 2007;) (Niranjan and Silva, 2008).

اندازه‌گیری سختی

سختی نمونه‌های شکلات ($70 \times 52 \times 14 \text{ mm}^3$) با استفاده از دستگاه تحلیل گر بافت TA plus (Lloyd Instruments Ltd) (Load cell، بریتانیا) اندازه‌گیری شد. آزمون سوراخ کردن با استفاده از یک پروب ته صاف استوانه‌ای با قطر 2 mm و سلول بارگذاری 50 N انجام شد. پروب هر نمونه را تا عمق 7 میلی‌متر (50 درصد ضخامت نمونه) با سرعت 1 mm/s در دمای محیط سوراخ کرد. نیروی محرکه⁷ بر روی 5 گرم تنظیم شد. با استفاده از نرم افزار Nexygen (نسخه 4/5/1) که به دستگاه متصل بود، سختی نمونه‌ها به صورت بیشترین نیروی (N) احساس شده به‌وسیله پروب اندازه‌گیری شد. تمام آزمون‌ها با چهار بار تکرار انجام شدند.

(شکل 3-ب). پس از آن، از فیلتر لاپلاس¹ برای تیز کردن لبه‌های حباب‌ها استفاده شد (شکل 3-پ) و تصویر حاصل از فیلتر از تصویر قبل از فیلتر تفریق شد (شکل 3-ت). سپس، از روش آستانه‌یابی تطبیقی² (Bradley and Roth, 2007) برای به‌دست آوردن مرز اولیه (تصویر دودویی) استفاده شد (شکل 3-ث). مراحل فوق روی تمام تصاویر اجرا و تصاویر سطح خاکستری پردازش شده و تصاویر مرز اولیه در متغیرهای سه بعدی ذخیره شدند. سپس این متغیرها وارد تابع چان-وز³ سه بعدی شدند تا تصویر دودویی سه‌بعدی نهایی (شکل 3-ج) که در آن حباب‌ها از سایر بخش‌های تصویر جدا شده‌اند، به‌دست آید. ویژگی‌هایی که از این تصویر استخراج شدند، عبارتند از: حجم کل، قطر و نسبت سطح به حجم حباب‌ها.

تابع چان-وز را می‌توان به‌طور خلاصه به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$F(c_1, c_2, C) = \mu \cdot \text{length}(C) + \lambda_1 \int |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy + \lambda_2 \int |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy \quad (1)$$

که در آن u_0 میانگین سطح روشنایی تصویر، C مرز اولیه و c_1 و c_2 میانگین سطح روشنایی تصویر به‌ترتیب در داخل و خارج C هستند. μ ، λ_1 و λ_2 نیز پارامترهای ثابت می‌باشند که در این مطالعه، پس از آزمون و خطای فراوان، به‌ترتیب برابر 0/01، 0/1 و 1 در نظر گرفته شدند. هدف این روش کمینه‌سازی تابع فوق می‌باشد (Chan and Vese, 2001).

توزیع اندازه حباب‌ها

توزیع اندازه حباب‌های حاصل از فرایندهای اختلاط غیرممتقارن و چوله به راست هست که نشان‌دهنده لوگ-نرمال⁴ بودن آن می‌باشد (Misra et al., 2018; Belidlo et al., 2006; Chiotellis et al., 2003; Massey et al., 2001). توزیع لوگ-نرمال نوعی توزیع پیوسته از یک متغیر تصادفی است که لگاریتم طبیعی (\ln) آن به‌طور نرمال توزیع شده است. معادله توزیع لوگ-نرمال آن به صورت زیر است:

$$f(D_i) = \frac{1}{D_i \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln D_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right); D_i > 0 \quad (2)$$

که در آن D_i قطر حباب‌ها، $f(D_i)$ تابع چگالی احتمال D_i ، μ میانگین توزیع لوگ-نرمال و σ انحراف معیار توزیع لوگ-نرمال

5 Floatation method

6 Load cell

7 Trigger force

1 Laplacian

2 Adaptive thresholding

3 Chan-Vese

4 Log-normal

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

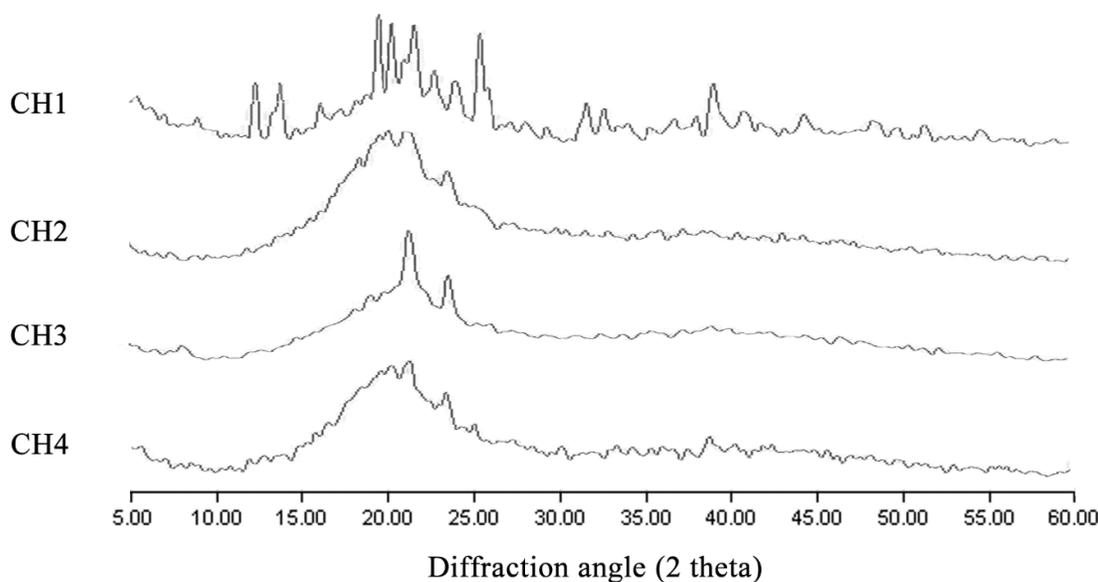
با استفاده از نرم‌افزار مینی تب 18 (مینی تب، آمریکا) یک طرح آزمایشی کاملاً تصادفی به روش فاکتوریل ایجاد شد. متغیرهای مستقل شامل درصد جایگزینی اینولین (جدول 1) و فشار گاز دی‌اکسید کربن (صفر و 6 بار) بودند. مدل خطی عمومی⁸ برای بررسی اثرات اصلی و متقابل متغیرهای مستقل بر روی پاسخ‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در مورد ویژگی‌های تصویری، فقط آزمون چنددامنه‌ای توکی به منظور مقایسه میانگین‌های آنها در سطح اطمینان 95 درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

پراش اشعه X

بلورینگی نمونه‌ها از طریق پراش اشعه X تعیین شد. همان‌طور که در شکل 2 نمایان است، تعداد زیادی قله‌های قوی و مشخص در نمودار CHI مشاهده می‌شوند که می‌توان آنها را به میزان بالای بلورینگی شکر علاوه بر ناخالصی‌های موجود در شکر تجاری که در این پژوهش استفاده شد، نسبت داد. همچنین، باید خاطر نشان کرد که طی آسیاب کردن، ذرات شکر حرارت می‌بینند، سرد می‌شوند و می‌شکنند. این منجر به بازآرایی مولکولی در بلورهای شکر می‌شود و در نتیجه، ساختار

بلورها را تغییر می‌دهد (Glicerina et al., 2013). قله‌هایی که در 02 برابر با 18/89، 19/64، 24/79 و 25/26 درجه مشاهده می‌شوند، نشان‌دهنده پودر شکر⁹ هستند که به ترتیب متناظر با فواصل¹⁰ 4/6975، 4/5200، 3/5916 و 3/5255 انگستروم می‌باشند (Winkelmeyer et al., 2016). در مورد نمونه‌های بدون شکر، می‌توان دو قله مجزا را در 02 برابر 21 و 23/5 درجه مشاهده نمود. به وضوح می‌توان دید که هر دو قله در نمودار CH3 بسیار قوی‌تر و مشخص‌تر هستند که نشان‌دهنده ساختار متبلورتر این نمونه می‌باشد. Aidoo و همکاران (2014) گزارش کردند که نمونه‌های شکلات بدون شکر با نسبت اینولین به پلی‌دکستروز 50 به 50 کریستال‌های بزرگتری در مقایسه با نمونه‌های 75 به 25 داشتند. به همین صورت، به نظر می‌رسد که اینولین و مالتودکسترین به صورت فیزیکی با یکدیگر یا با سایر اجزای شکلات، به خصوص CBS، برهمکنش داشته‌اند که در مورد CH3 ملموس‌تر بوده است؛ در نتیجه، ریزساختار شکلات دستخوش تغییراتی شد؛ از یک حالت نامنظم (بی‌شکل) به یک حالت منظم (متبلور). مقایسه نمودارهای CH2 و CH4 نشان می‌دهد که قله‌های مذکور اندکی در نمودار CH4 تیزتر هستند که نشانه ساختار متبلورتر CH4 نسبت به CH2 می‌باشد.



شکل 2- نمودارهای پراش اشعه X چهار نمونه شکلات

10 d-spacing

8 General linear model

9 Icing sugar

امر نیز به نوبه خود نمایانگر به هم پیوستگی حباب‌ها در نمونه‌هایی است که ساختار متبلورتری دارند. به عبارت دیگر، در نمونه‌هایی همچون CH1 و CH3، چون حباب‌ها نتوانسته‌اند از ماتریس شکلات خارج شوند، به هم پیوسته‌اند و حباب‌های بزرگتری را تشکیل داده‌اند ولی در دو نمونه دیگر، به‌ویژه در CH2، به‌نظر می‌رسد که حباب‌ها به‌راحتی نتوانسته‌اند از ساختار شکلات خارج شوند؛ به همین دلیل، هم تعداد و هم قطر آنها در این دو نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها کمتر است. شکل 4 نیز موید یافته‌های فوق می‌باشد. ملاحظه می‌شود که در بازه صفر تا تقریباً یک میلی‌متر، CH1 و CH2 به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد حباب می‌باشند، در حالی که در بازه 1- 2/25 mm، حالت عکس آن صادق است. به‌علاوه، مشاهده می‌شود که نمودارهای CH3 و CH4 در کل بازه 0- 2/25 mm تقریباً برهم منطبق هستند که این با معنی‌دار نبودن اختلاف قطر میانگین آنها همخوانی دارد. همان‌طور که در جدول 2 مشاهده می‌شود، از نظر اندازه حباب‌ها، CH1 بیشترین شباهت را به شکلات تجاری دارد که این امر می‌تواند به دلیل وجود شکر در هر دو شکلات باشد. همان‌طور که پیشتر گفته شد، در محصولات حباب‌دار، ذرات جامد، به‌ویژه شکر، نقش فاز پیوسته را ایفا می‌کنند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، به نظر می‌رسد که نقش شکر در این زمینه به مراتب چشمگیرتر از سایر ذرات جامد است، به‌طوری که اینولین و مالتودکستین، به‌ویژه در نسبت‌های 25:75 و 75:25، نتوانسته‌اند نقش فاز پیوسته را به‌خوبی ایفا کنند.

نسبت سطح به حجم حباب‌ها نیز در جدول 2 نشان داده شده است. هر قدر اندازه یک ذره کوچکتر باشد، نسبت سطح به حجم آن بیشتر است؛ بنابراین، همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، نسبت سطح به حجم حباب‌ها در CH1 و CH2 به‌ترتیب بیشینه و کمینه بود. انتظار می‌رفت که این نسبت در CH1 بیشتر از شکلات تجاری باشد ولی عکس آن اتفاق افتاد. این می‌تواند به دلیل حجم گاز بیشتر موجود در شکلات تجاری باشد؛ زیرا هر قدر مقدار گاز موجود در یک محصول بیشتر باشد، حباب‌های موجود در آن چندوجهی‌ترند و کرویت کمتری دارند (کمپبل و موگوت، 1999) که همین امر سبب افزایش مساحت سطحی آنها می‌شود؛ در نتیجه، نسبت سطح به حجم آنها افزایش می‌یابد

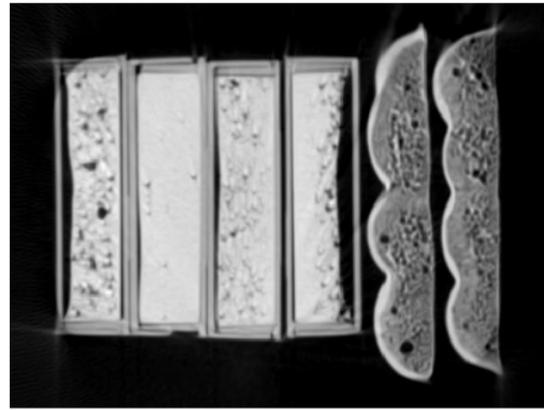
اثر درصد جایگزینی اینولین بر ویژگی‌های تصویری

در شکل 3 یکی از مقاطع تصویر سه‌بعدی نمونه‌های شکلات، مرز اولیه و تصویر دودویی نهایی حاصل از روش چان-وز مشاهده می‌شوند. به وضوح می‌توان دید که روش چان-وز از روش تطبیقی بهتر بوده، و به‌خوبی توانسته است نویزهای موجود در تصویر را حذف کند، در حالی که روش تطبیقی از این کار ناتوان بوده است. به‌علاوه، در تصویر شکلات‌های تجاری می‌توان مشاهده کرد که قطر حباب‌ها در تصویر دودویی نهایی بیشتر از مرز اولیه است. این مهم‌ترین ویژگی روش چان-وز است؛ زیرا در این روش، تقطیع تصویر وابسته به گرادین نیست و به همین دلیل، برای ردیابی اجزایی مناسب است که مرزهای مشخصی ندارند (Chan and Vese, 2001). در تصویر شکلات‌های تجاری، چون لبه برخی از حباب‌ها دقیقاً مشخص نیست، روش تطبیقی از تقطیع دقیق آنها ناتوان بوده است، در حالی که مرز اولیه در روش چان-وز تکامل یافته و نتوانسته است آن حباب‌ها را به‌خوبی از پس زمینه جدا کند.

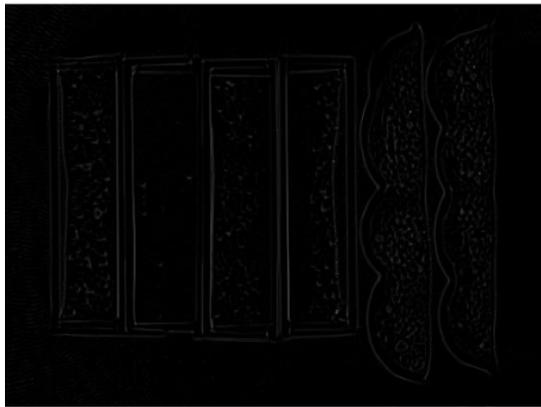
همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود، توزیع اندازه حباب‌های شکلات‌های مورد بررسی در این مطالعه به‌صورت لوگ-نرمال است؛ به همین دلیل، مقایسه میانگین بر روی لگاریتم طبیعی آنها صورت پذیرفت (جدول 2). ملاحظه می‌شود که در بین شکلات‌های تولید شده در این پژوهش، میانگین قطر حباب‌های CH1 بیشترین نزدیکی را به شکلات تجاری دارد و در بین شکلات‌های بدون شکر، قطر حباب‌های CH3 از دو نمونه دیگر بیشتر است. دلیل بزرگتر بودن اندازه حباب‌های CH1 نسبت به نمونه‌های بدون شکر را می‌توان به بلورینگی بیشتر آن نسبت داد (شکل 2). به‌نظر می‌رسد که بلورینگی بیشتر این نمونه سبب به دام‌انداختن حباب‌ها و جلوگیری از خروج گاز شده، و همین امر موجب به هم پیوستن¹¹ حباب‌های کوچک و تشکیل حباب‌های بزرگتر شده است. در بین نمونه‌های بدون شکر نیز قطر حباب‌های CH3 بیش از دو نمونه دیگر است که این پدیده را نیز می‌توان به ساختار متبلورتر آن نسبت داد. سه پارامتر D_{50} ، D_{10} و D_{90} نیز در جدول 2 نشان داده شده‌اند. با مقایسه این سه پارامتر می‌توان دریافت که حباب‌های کوچک در هر چهار شکلات تولید شده در این تحقیق تقریباً هم‌اندازه‌اند و هر قدر اندازه حباب‌ها افزایش می‌یابد، اختلاف بین آنها بیشتر می‌شود. این



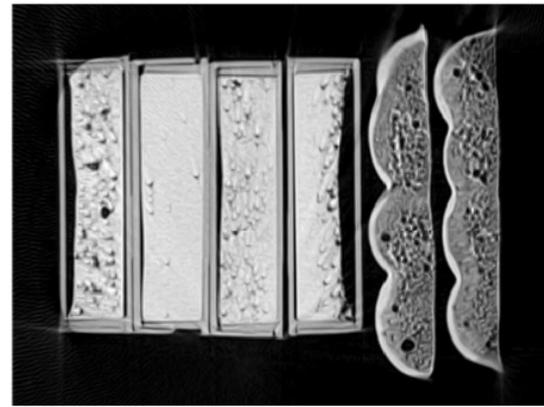
الف



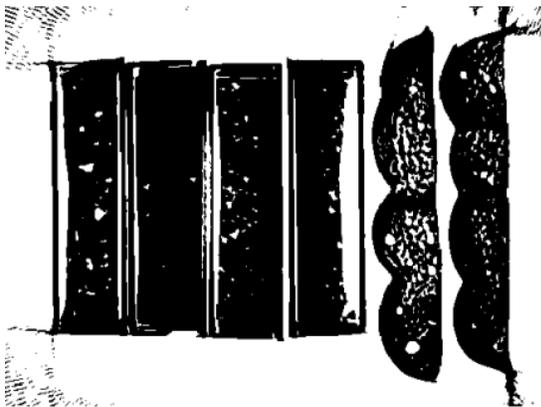
ب



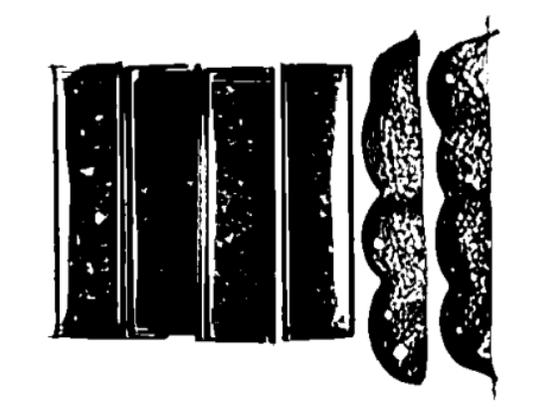
پ



ت

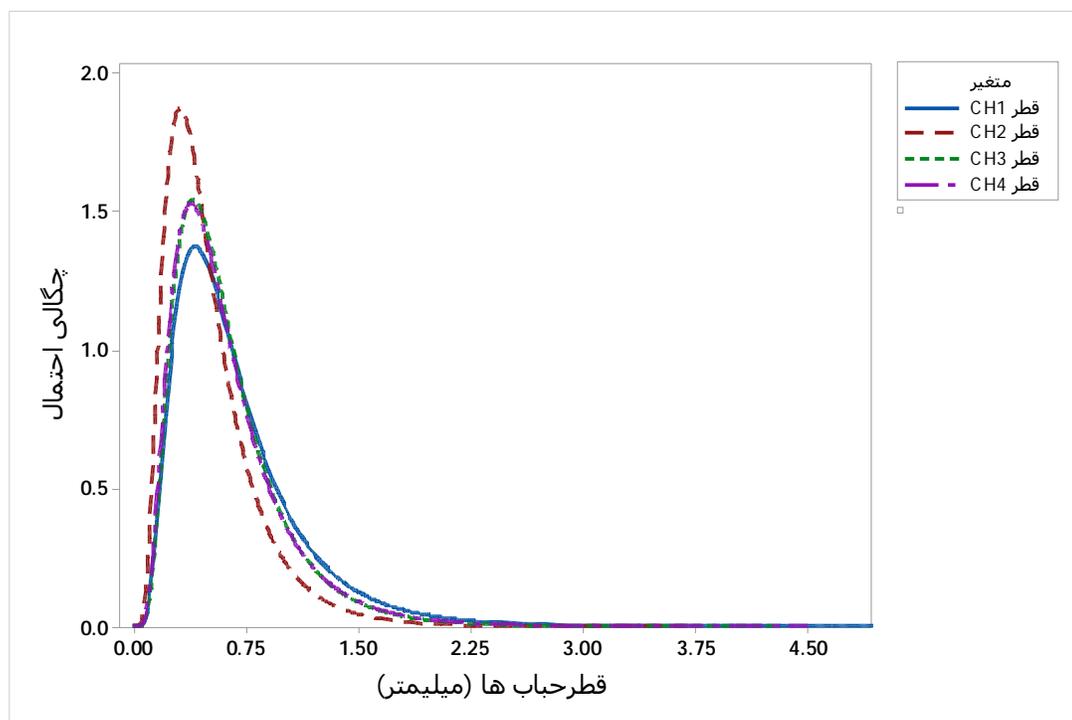


ث



ج

شکل 3- مراحل پردازش تصاویر: الف) تصویر اولیه، ب) تصویر نرمال شده، پ) تصویر حاصل از فیلتر لاپلاس، ت) تصویر حاصل تفریق پ از ب، ث) تصویر دودویی حاصل از روش آستانه‌یابی تطبیقی (مرز اولیه) و ج) تصویر دودویی نهایی حاصل از روش چان-وز. (در تمام تصاویر به ترتیب از راست به چپ: شکلات تجاری، شکلات تجاری، شکلات تجاری، CH4، CH3، CH2 و CH1).



شکل 4- توزیع اندازه حباب های نمونه های شکلات

(به دلیل تفاوت چشمگیر نمودار چگالی احتمال شکلات تجاری با نمودار های فوق، از رسم آن خودداری شده است).

جدول 2- ویژگی های حباب های نمونه های شکلات که از تصویر سه بعدی دودویی حاصل از روش چان-وز استخراج شده‌اند.

درصد جایگزینی اینولین	تعداد حباب های شناسایی شده	* لگاریتم طبیعی قطر حباب ها	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₉₀ (mm)	حجم کل (mm ³)	نسبت سطح به حجم (mm ⁻¹)
صفر	1188	-0/53± 0/017 ^b	0/23	0/58	1/28	540/74	10/11± 0/10 ^d
25	215	-0/82± 0/039 ^d	0/23	0/38	0/99	32/90	12/43± 0/19 ^a
50	1639	-0/61± 0/014 ^c	0/23	0/53	1/12	331/62	11/26± 0/07 ^b
75	665	-0/62± 0/022 ^c	0/23	0/53	1/10	131/52	11/34± 0/11 ^b
شکلات تجاری	5769	-0/47± 0/008 ^a	0/31	0/60	1/34	-**	10/50± 0/04 ^c

* داده‌ها به صورت خطای معیار ± میانگین گزارش شده‌اند. حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

** دلیل گزارش نکردن حجم کل حباب‌های شکلات تجاری تفاوت حجم کل این شکلات با سایر شکلات‌ها می‌باشد.

بود که نشانی از توانایی بالای مدل در برازش داده‌ها می‌باشد. همان‌طور که می‌دانیم، با افزایش عبارتهای مدل میزان R^2 نیز افزایش می‌یابد؛ به همین دلیل، معمولاً علاوه بر این ضریب، R^2 -adj نیز گزارش می‌شود که تعداد عبارتهای مدل اثری بر مقدار آن ندارد. همچنین R^2 -pred نیز نشان‌دهنده توانایی مدل برای پیش‌بینی تیمارهایی است که آزمایش نشده‌اند. مناسب بودن مدل هم به بالا بودن این ضرایب و هم به نزدیک بودن مقدار آنها بستگی دارد. به علاوه، عدم برازش

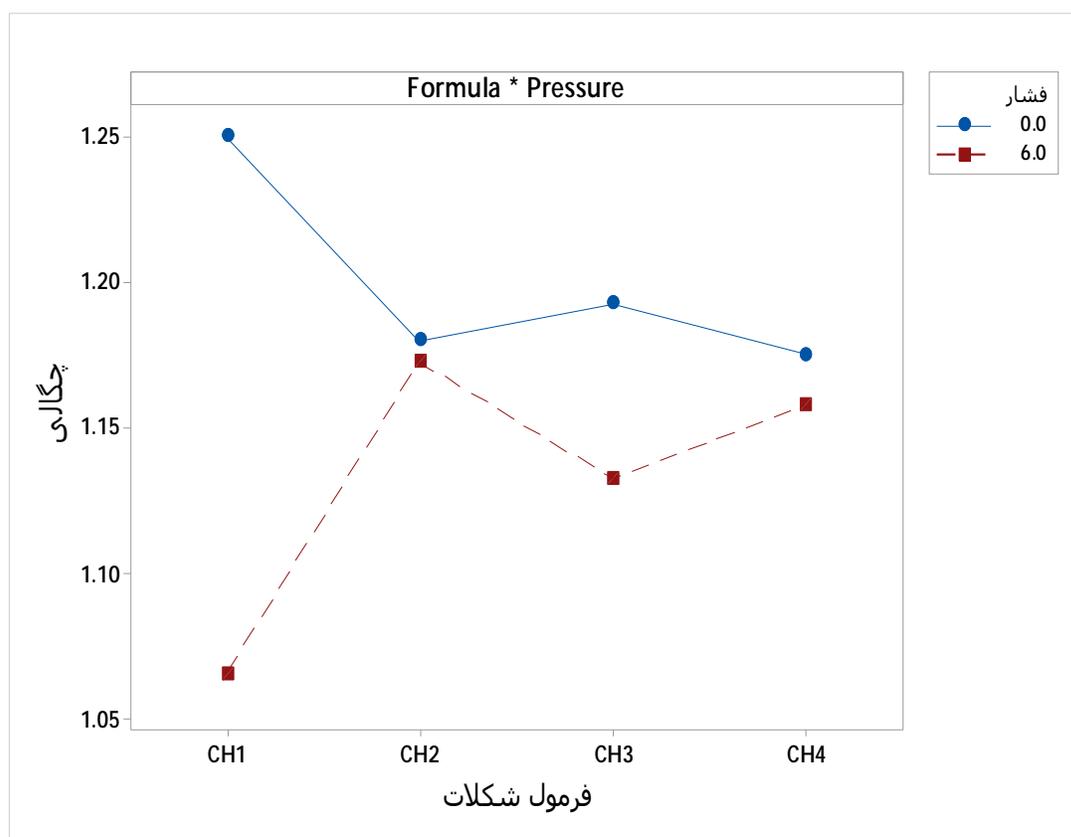
اثر درصد جایگزینی اینولین و فشار گاز بر چگالی شکلات

اثر متغیرهای مستقل بر روی چگالی شکلات با استفاده از مدل خطی عمومی مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که اثر اصلی هر دو متغیر به علاوه اثر متقابل بین آنها در سطح اطمینان 95% بر روی چگالی شکلات معنی‌دار بود. میزان ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تطبیق یافته (R^2 -adj) و ضریب تبیین پیش‌بینی شده (R^2 -pred) برای مدل برازش شده به ترتیب برابر 92/63، 90/48 و 86/89

CHI حبابدار در مقایسه با سه شکلات حبابدار بدون شکر است. این نشان می‌دهد که CHI در نگهداری گاز بسیار تواناتر از شکلات‌های دیگر بوده است که دلیل آن را می‌توان به حضور شکر در این شکلات و بلورینگی بیشتر آن نسبت داد. در مورد شکلات‌های بدون شکر نیز مشاهده می‌شود که چگالی CH3 کمتر از دو نمونه دیگر است. این نتایج با مشاهدات و نتایج حاصل از پردازش تصویر همخوانی دارند. ملاحظه می‌شود که حجم کل حباب‌ها در CHI به مراتب بیشتر از نمونه‌های بدون شکر است (جدول 2) که این نشان‌دهنده چگالی کمتر CHI حبابدار نسبت به سایر نمونه‌ها است. در بین نمونه‌های رژیمی نیز حجم کل حباب‌های CH3 از دو نمونه دیگر بیشتر است که این نتیجه نیز نشان‌دهنده توانایی بیشتر این نمونه در نگهداری گاز و چگالی پایین‌تر آن است. چگالی شکلات تجاری برابر $0/80 \pm 0/03 \text{ g/cm}^3$ بود که به مراتب کمتر از چگالی نمونه‌های این تحقیق می‌باشد. این هم می‌تواند به دلیل فرمول متفاوت آن و هم میزان گاز بیشتر موجود در آن باشد.

این مدل نیز در سطح اطمینان 95% معنی‌دار نبود ($p=0/123$) که این نیز نشان‌دهنده مناسب بودن مدل می‌باشد.

اثر متقابل متغیرهای مستقل بر روی چگالی شکلات در شکل 5 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، چگالی CHI به مراتب بیشتر از سه شکلات بدون شکر است که این به دلیل چگالی بیشتر شکر ($1/59 \text{ g/cm}^3$) نسبت به اینولین ($1/31 \text{ g/cm}^3$) و مالتودکسترین ($1/44 \text{ g/cm}^3$) می‌باشد. با توجه به بیشتر بودن چگالی مالتودکسترین نسبت به اینولین، انتظار می‌رفت که چگالی CH2 بیشتر از CH3 باشد ولی عکس آن مشاهده شد. این می‌تواند به دلیل بلورینگی بیشتر CH3 نسبت به دو شکلات رژیمی دیگر باشد. این‌طور به نظر می‌رسد که اینولین و مالتودکسترین در نسبت 50:50 بلورهایی تشکیل داده‌اند که در جرم ثابت، حجم کمتری را اشغال کرده‌اند و در نتیجه، چگالی CH3 را در مقایسه با CH2 افزایش داده‌اند. همچنین، مشاهده می‌شود که در تمام شکلات‌ها چگالی شکلات حبابدار کمتر از شکلات بدون حباب است؛ زیرا بخشی از مواد جامد و چربی با گاز دی‌اکسید کربن جایگزین شده است. نکته حائز اهمیت چگالی به مراتب کمتر



شکل 5- اثر متقابل درصد جایگزینی اینولین و فشار گاز بر روی چگالی شکلات

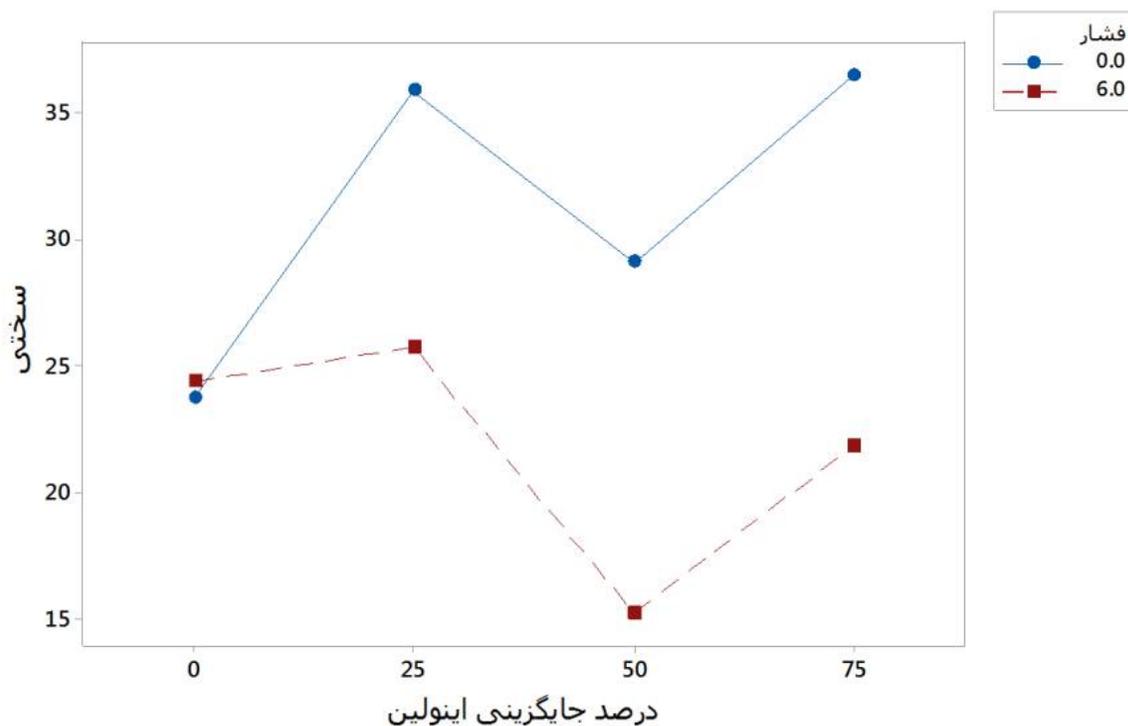
همکاران (al., 2014; Rezende et al., 2015) و Bitaraf (2013) به کاهش سختی شکلات تلخ بدون شکر با افزایش مالتودکسترین اشاره کردند و جاذب رطوبت بودن این ماده را به عنوان دلیلی برای این مشاهده عنوان کردند. سختی کمتر CHI نسبت به نمونه‌های بدون شکر را می‌توان به چگالی بیشتر شکر نسبت به اینولین و مالتودکسترین نسبت داد که موجب کاهش جزء حجمی ذرات جامد در CHI شد. این ممکن است منجر به کاهش شدت تجمع ذرات جامد و تراکم کمتر در ساختار CHI، و در نتیجه، بافت نرم‌تر شده باشد. پیش‌بینی می‌شد که سختی نمونه‌های حبابدار کمتر از نمونه‌های بدون گاز باشد که این پدیده در مورد شکلات‌های بدون شکر مشاهده شد. دلیل آن نیز جایگزینی بخشی از مواد جامد و چربی شکلات با گاز است که سبب نرم‌تر شدن آن شده است. نکته جالب توجه بالاتر بودن سختی CHI حبابدار از نمونه بدون گاز است. دلیل این مشاهده را نیز، همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، می‌توان به حضور شکر در این نمونه نسبت داد؛ زیرا در محصولات حبابدار، ذرات جامد، به‌ویژه شکر، یک اسکلت پیوسته را تشکیل می‌دهند و همان نقشی را ایفا می‌کنند که چربی در محصولات بدون حباب بازی می‌کند (Peters, 2017). این گونه به‌نظر می‌رسد که اسکلت شکری در این محصول سبب شده است که سختی CHI حبابدار اندکی بیشتر از نمونه بدون گاز شود. در عین حال، با توجه به اینکه چنین پدیده‌ای در نمونه‌های بدون شکر مشاهده نشد، می‌توان نتیجه گرفت که جایگزین‌های شکر نتوانسته‌اند نقش فاز پیوسته را به‌خوبی شکر در این محصولات ایفا کنند.

میانگین سختی شکلات تجاری $7/66 \pm 2/37$ نیوتن به‌دست آمد که از سختی نمونه‌های مورد بررسی در این تحقیق بسیار کمتر است. دلیل این را هم می‌توان به تفاوت در فرمول شکلات‌ها و هم به میزان گاز بیشتر شکلات تجاری نسبت داد. از آنجایی که در شکلات تجاری از کره کاکائو و در شکلات‌های این مطالعه از جایگزین کره کاکائو استفاده شده است، نرم‌تر بودن بودن شکلات تجاری نسبت به این شکلات‌ها قابل پیش‌بینی بود. در ضمن، همان‌طور که از نتایج پردازش تصویر و اندازه‌گیری چگالی بر می‌آید، میزان گاز موجود در شکلات تجاری بیشتر بود که این نیز به نوبه‌خود می‌تواند دلیل دیگری برای سختی کمتر این شکلات باشد.

اثر درصد جایگزینی اینولین و فشار گاز بر سختی شکلات

تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که هم اثر اصلی متغیرهای مستقل و هم اثر متقابل بین آنها در سطح اطمینان 95% بر روی سختی شکلات معنی‌دار بود. میزان R^2 -adj، R^2 -pred و برای مدل برازش شده به‌ترتیب برابر $76/04$ ، $68/70$ و $73/04$ بود که نمایانگر توانایی قابل قبول مدل در برازش داده‌ها می‌باشد. به علاوه، معنی‌دار نشدن احتمال عدم برازش ($p=0/092$) نیز نشانه دیگری از شایستگی مدل می‌باشد.

اثر متقابل متغیرهای مستقل بر روی سختی شکلات در شکل 6 نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که جایگزینی شکر با اینولین و مالتودکسترین باعث افزایش سختی شکلات شد. CH_4 از سایر نمونه‌ها سخت‌تر بود که می‌تواند به دلیل بالاتر بودن شدت تجمع ذرات جامد¹² آن باشد. این مشابه نتیجه Aidoo و همکاران (2014) است که ادعا کردند که نمونه‌های شکلات حاوی 75% اینولین: 25% پلی دکستروز شدت تجمع ذرات جامد بیشتری نسبت به نمونه‌هایی داشت که حاوی 50% اینولین: 50% پلی دکستروز بود. Belščak- Cvitanović و همکاران (2015) بیان کردند که سختی شکلات همبستگی مستقیمی با میان‌اندازه ذرات دارد. مطالعات قبلی به افزایش اندازه ذرات شکلات با افزایش میزان اینولین اشاره کرده‌اند (Shourideh et al., 2012; Aidoo et al., 2014; Konar et al., 2014; Bitaraf et al., 2016). از این رو، سختی بیشتر CH_4 را می‌توان به ذرات درشت‌تر آن نسبت داد. Konar و همکاران (2014) همچنین مشاهده کردند که سختی شکلات سفید سیمبوتیک پس از افزودن اینولین افزایش یافت و آن را به محتوای کل مواد جامد شکلات نسبت دادند که به خاطر افزودن اینولین بوده است. Aidoo و همکاران (2017) دریافتند که افزایش میزان اینولین موجب افزایش سختی شکلات تلخ بدون شکر شد؛ اگرچه تفاوت‌ها معنی‌دار نبودند. برخی مطالعات نیز به اثر بی‌معنی اینولین بر سختی شکلات اشاره کرده‌اند (Shah et al., 2010; Furlán et al., 2017; Konar et al., 2017). در عین حال، برخی دیگر به کاهش سختی شکلات با افزایش اینولین اشاره کرده‌اند (Shourideh et al., 2012; Konar et al., 2012).



شکل 6- اثر متقابل درصد جایگزینی اینولین و فشار گاز بر روی سختی شکلات

حباب‌های بزرگتر در این نمونه نسبت داد. همچنین، مشاهده شد که در تمام شکلات‌ها، چگالی شکلات حبابدار کمتر از شکلات بدون حباب است. نتایج اندازه‌گیری سختی نیز نشان داد که نمونه‌های بدون شکر حبابدار از نمونه‌های بدون گاز نرمتر بودند ولی در مورد CHI عکس این پدیده مشاهده شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به‌خاطر حمایت مالی از این طرح پژوهشی با شماره 39888 تقدیر به‌عمل آورند. بخشی از محاسبات این تحقیق در مرکز محاسبات سنگین دانشگاه فردوسی مشهد، انجام شد که بدین وسیله تشکر می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دادند که روش چان-وز در مقایسه با روش تطبیقی، از توانایی بالاتری در تقطیع تصویر برخوردار است؛ زیرا این روش وابسته به گرادینان نیست و به‌خصوص برای تقطیع تصاویری مناسب است که مرزهای مشخصی ندارند. همچنین، نتایج پراش اشعه X نشان دادند که ساختار متبلورتری نسبت به دو نمونه بدون شکر دیگر داشت که دلیل آن را می‌توان به برهمکنش احتمالی بین اینولین و مالتودکسترین با یکدیگر یا با سایر اجزای شکلات نسبت داد. توزیع اندازه حباب‌های شکلات‌های مورد بررسی در این مطالعه به صورت لوگ-نرمال بود و میانگین قطر حباب‌های CHI بیشتر از سایر نمونه‌ها بود که دلیل آن را می‌توان به به‌هم پیوستن حباب‌های کوچک و تشکیل

منابع

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., & Fowler, M. (2007). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(6), 290-298.
- Aidoo, R. (2015). Functionality of inulin and polydextrose in stevia or thaumatin sweetened dark chocolate. (PhD thesis), Ghent University, Belgium.

- Aidoo, R. P., Afoakwa, E. O., & Dewettinck, K. (2014). Optimization of inulin and polydextrose mixtures as sucrose replacers during sugar-free chocolate manufacture—Rheological, microstructure and physical quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 126, 35-42.
- Aidoo, R. P., Appah, E., Van Dewalle, D., Afoakwa, E. O., & Dewettinck, K. (2017). Functionality of inulin and polydextrose as sucrose replacers in sugar-free dark chocolate manufacture—effect of fat content and bulk mixture concentration on rheological, mechanical and melting properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(1), 282-290.
- Aidoo, R. P., Depypere, F., Afoakwa, E. O., & Dewettinck, K. (2013). Industrial manufacture of sugar-free chocolates—applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 84-96.
- Bellido, G. G., Scanlon, M. G., Page, J. H., & Hallgrimsson, B. (2006). The bubble size distribution in wheat flour dough. *Food Research International*, 39(10), 1058-1066.
- Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Dujmović, M., Karlović, S., Biškić, M., Brnčić, M., & Ježek, D. (2015). Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food Chemistry*, 167, 61-70.
- Bitaraf, S., Abbasi, S., & HAMIDI, E. Z. (2016). Effects of inulin and bulking agents on rheological properties and particle size distribution of low calorie dark chocolate.
- Bitaraf, S., Abbasi, S., & Hamidi, Z. (2013). Production of low-energy prebiotic dark chocolate using inulin, polydextrose, and maltodextrin. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(1), 49-62.
- Bradley, D., & Roth, G. (2007). Adaptive thresholding using the integral image. *Journal of graphics tools*, 12(2), 13-21.
- Campbell, G. M., & Mougeot, E. (1999). Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in Food Science & Technology*, 10(9), 283-296.
- Chan, T. F., & Vese, L. A. (2001). Active contours without edges. *IEEE Transactions on image processing*, 10(2), 266-277.
- Chiotellis, E., & Campbell, G. M. (2003). Proving of bread dough I: modelling the evolution of the bubble size distribution. *Food and Bioproducts Processing*, 81(3), 194-206.
- Erdem, Ö., Gültekin-Özgüven, M., Berktaş, I., Erşan, S., Tuna, H. E., Karadağ, A., Cutting, S. M. (2014). Development of a novel synbiotic dark chocolate enriched with *Bacillus indicus* HU36, maltodextrin and lemon fiber: Optimization by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 56(1), 187-193.
- Falcone, P., Baiano, A., Zanini, F., Mancini, L., Tromba, G., Montanari, F., & Del Nobile, M. (2004). A novel approach to the study of bread porous structure: phase-contrast X-ray microtomography. *Journal of Food Science-Chicago*, 69(1), FEP38-FEP38.
- Farzaneh, H., & Abbasi, S. (2009). Effects of inulin and bulking agents on some physicochemical, textural and sensory properties of milk chocolate. *Journal of texture studies*, 40(5), 536-553.
- Furlán, L. T. R., Baracco, Y., Lecot, J., Zaritzky, N., & Campderrós, M. E. (2017). Influence of hydrogenated oil as cocoa butter replacers in the development of sugar-free compound chocolates: Use of inulin as stabilizing agent. *Food Chemistry*, 217, 637-647.
- Glicerina, V., Balestra, F., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2013). Rheological, textural and calorimetric modifications of dark chocolate during process. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 173-179.
- Granato, D., de Araújo Calado, V. M., & Jarvis, B. (2014). Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. *Food Research International*, 55(0), 137-149. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.024>
- Haedelt, J. (2005). An investigation into bubble inclusion into liquid chocolate. The University of Reading.
- Haedelt, J., Beckett, S., & Niranjana, K. (2007). Bubble-Included Chocolate: Relating Structure with Sensory Response. *Journal of Food Science*, 72(3), E138-E142.
- Haedelt, J., Pyle, D. L., Beckett, S. T., & Niranjana, K. (2005). Vacuum-induced Bubble Formation in Liquid-tempered Chocolate. *Journal of Food Science*, 70(2), E159-E164.
- Konar, N., Özhan, B., Artık, N., Dalabasmaz, S., & Poyrazoglu, E. S. (2014). Rheological and physical properties of inulin-containing milk chocolate prepared at different process conditions. *CyTA-Journal of Food*, 12(1), 55-64.
- Konar, N., Palabiyik, İ., Toker, O. S., Polat, D. G., Sener, S., Akcicek, A., & Sagdic, O. (2017). Effect of Inulin DP on Various Properties of Sugar-Free Dark Chocolates Containing *Lactobacillus paracasei* and *Lactobacillus acidophilus*. *International Journal of Food Engineering*, 13(9).
- Massey, A., Khare, A., & Niranjana, K. (2001). Air inclusion into a model cake batter using a pressure whisk: development of gas hold-up and bubble size distribution. *Journal of Food Science*, 66(8), 1152-1157.
- Misra, N., Phalak, R., & Martynenko, A. (2018). A microscopic computer vision algorithm for autonomous bubble detection in aerated complex liquids. *Journal of Food Engineering*, 238, 54-60.
- Niranjana, K., & Silva, S. (2008). Bubble-containing foods *Food Materials Science* (pp. 281-303): Springer.
- Pandey, A., & Singh, G. (2011). Development and storage study of reduced sugar soy containing compound chocolate. *Journal of food science and technology*, 48(1), 76-82.

- Peters, D. J. (2017). Non-conventional machines and processes. *Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use*, 400-430.
- Rezende, N. V., Benassi, M. T., Vissotto, F. Z., Augusto, P. P., & Grossmann, M. V. (2015). Mixture design applied for the partial replacement of fat with fibre in sucrose-free chocolates. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 598-604.
- Shah, A. B., Jones, G. P., & Vasiljevic, T. (2010). Sucrose-free chocolate sweetened with Stevia rebaudiana extract and containing different bulking agents—effects on physicochemical and sensory properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(7), 1426-1435.
- Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147, 444-454.
- Shourideh, M., Taslimi, A., Azizi, M., & Mohammadifar, M. (2012). Effects of D-Tagatose and inulin on some physicochemical, rheological and sensory properties of dark chocolate. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2(5), 314.
- Sokmen, A., & Gunes, G. (2006). Influence of some bulk sweeteners on rheological properties of chocolate. *LWT-Food Science and Technology*, 39(10), 1053-1058.
- Watson, N, Hazlehurst, T, Povey, M, Vieira, J, Sundara, R, & Sandoz, JP. (2014). Can airborne ultrasound monitor bubble size in chocolate, *Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series*.
- Winkelmeyer, C. B., Peyronel, F., Weiss, J., & Marangoni, A. G. (2016). Monitoring Tempered Dark Chocolate Using Ultrasonic Spectrometry. *Food and Bioprocess Technology*, 9(10), 1692-1705. doi:10.1007/s11947-016-1755-5



Production of aerated chocolate and application of X-ray computed tomography and image processing in evaluating the bubbles features

M. Sarfarazi¹, M. Mohebbi^{2*}, M. Saadatmand-Tarzjan³, A. Mirshahi⁴

Received: 2019.10.28

Accepted: 2019.11.09

Introduction: Chocolate is a suspension of solid particles, including sugar, cocoa solids and milk powder (depending on the chocolate type) in a continuous fat phase, namely cocoa butter or its substitutes. The solid particles account for approximately 70% of chocolate with the fat constituting about 30%. Sugar takes up nearly 40–50% of the total solid particles of chocolate, thus influencing its sweetness, particle size distribution, rheological and sensory properties. It is also considered to be a bulking agent and a source of energy which produces 394 kcal/100 g of refined sugar. Therefore, consumers are increasingly becoming concerned with chocolate sugar and calorie content nowadays. This issue can be resolved by replacing sugar with bulk (nutritive) sweeteners and/or dietary fibers. Bubbles are found in many food products, including cakes, chocolates and beverages. Although they do not increase the food nutritional value, they change its textural properties and mouthfeel. Bubbles are normally visible to the naked eye and their mean diameter ranges from 0.05 to 3 mm. X-ray computed tomography is a 3D imaging technique which captures the images of a sample cross-sections. It is used for the non-destructive visualization and characterization of food microstructure. In this method, a series of radiographs of a sample are captured from different angles to be utilized for the 3D reconstruction of the material microstructure.

Materials and methods: sugar was replaced with inulin: maltodextrin mixture at ratios of 25:75 (CH2), 50:50 (CH3) and 75:25 (CH4). Carbon dioxide was injected into the samples at 6 bar to produce aerated chocolate. Using X-ray computed tomography, the images of the samples were captured and after processing, the obtained images were segmented using the Chan-Vese method. The properties of bubbles included total volume, diameter and surface to volume ratio. The crystallinity of the samples was determined through X-ray diffraction. The hardness of the chocolate bars was measured using the puncture test. The density of the aerated chocolates was also compared with that of the nonaerated ones.

Results and discussion: X-ray diffraction revealed that there were many strong peaks in the diffractogram of CH1, which can be ascribed to the high degree of sugar crystallinity in addition to the impurities present in the commercial sugar utilized in this study. In the case of the sugar-free samples, namely CH2, CH3 and CH4, two distinct peaks could be seen at 2θ of about 21° and 23.5° , both of which were much stronger and more defined in the scattering pattern of CH3, demonstrating the more crystalline structure of this sample. It seems that inulin and maltodextrin have physically interacted with each other or with the other ingredients of the chocolate, in particular CBS, which has been more pronounced at the ratio of 50:50. The results of image segmentation showed that the Chan-Vese method, compared with the adaptive thresholding one, was more able to segment the images, because this method does not depend on the image gradient and is especially suitable for the objects with vague edges. The mean bubble diameter of CH1 was bigger than that of the other samples, which could be due to its higher degree of crystallinity, because the crystalline structure of CH1 prevented the gas from being lost leading to the coalescence of smaller bubbles and the formation of bigger ones. In addition, it was observed that the density of the aerated chocolate was higher than that of the unaerated one in all the formulas as a portion of solid particles and fat was replaced with the gas. The results also demonstrated that the sugar-free aerated samples were softer than the corresponding nonaerated ones. However, it was reversed in the case of CH1

1. PhD student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3. Associate professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4. Associate professor, Department of Clinical Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(* Corresponding author. E-mail: mohebbatm@gmail.com)

which could be ascribed to the presence of sugar in this sample, because in aerated products, solid particles, particularly sugar, form a continuous skeleton and play the same role as fat does in nonaerated products.

Keywords: Inulin; Maltodextrin; X-ray computed tomography; X-ray diffraction; Chan-Vese; Hardness.

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی عملکرد خاک رنگبر حاوی مقادیر افزایش یافته اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم

بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن سویا

بهاره خلیق^۱ - مریم قراچورلو^{۲*} - پیمان قاسمی افشار^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

چکیده

ناخالصی‌های روغن و ترکیبات رنگی موجود در آن با استفاده از یک جاذب و طی فرآیند رنگبری از روغن خارج می‌شوند. در این تحقیق مقادیر مختلفی از اکسید آلومینیوم و منیزیم به خاک رنگبر تجاری افزوده شد. سپس فعال‌سازی با اسید هیدروکلریک صورت گرفت. رنگبری روغن با افزودن ۲ درصد خاک‌های رنگبر متشکل از درصدهای مختلف سیلیس، اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم، اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم اسیدی و خاک رنگبر تجاری در مقایسه با نمونه شاهد انجام گرفت. مقدار عدد پراکسید، عدد اسیدی، کلروفیل، کاروتنوئید، رنگ زرد و قرمز و مقادیر مس و آهن نمونه‌های رنگبری شده تعیین گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که جاذب‌های حاوی اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم دارای عملکرد یکسان با خاک رنگبر تجاری در کاهش پراکسید نمونه‌های روغن به میزان ۹۸/۹-۹۶/۳ درصد بودند. استفاده از جاذب حاوی ۹۵ درصد خاک تجاری و ۵ درصد اکسید آلومینیوم اسیدی باعث کاهش ۳۳/۳۳ درصدی اندیس اسیدی شد. جاذب حاوی ۹۰ درصد خاک تجاری و ۱۰ درصد اکسید منیزیم، کلروفیل را به میزان ۶۵/۹۶ درصد کاهش داد. با استفاده از جاذب حاوی ۹۰ درصد خاک تجاری و ۱۰ درصد اکسید منیزیم، کاروتنوئید ۹۳/۴۰ درصد کاهش یافت. جاذب‌های حاوی ۹۵ درصد خاک تجاری و ۵ درصد اکسید آلومینیوم، ۹۵ درصد خاک تجاری و ۵ درصد اکسید منیزیم، ۹۵ درصد خاک تجاری و ۵ درصد اکسید منیزیم اسیدی عملکرد یکسانی مشابه خاک تجاری در کاهش رنگ قرمز داشتند. مس و آهن در نمونه رنگبری شده با جاذب حاوی ۵۰ درصد خاک تجاری و ۵۰ درصد اکسید آلومینیوم و جاذب حاوی ۵۰ درصد خاک تجاری و ۵۰ درصد اکسید منیزیم کاهش ۱۰۰ درصدی یافتند. نتایج این پژوهش نشان داد اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم می‌تواند عملکرد خاک‌های رنگبر را بهبود دهند به طوری که جاذب‌های حاوی نزدیک به ۵۰ درصد اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم نتایج بهتری در رنگبری در مقایسه با جاذب تجاری داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: اکسید آلومینیوم، اکسید منیزیم، خاک رنگبر، رنگبری، روغن سویا

مقدمه

فرآیند فیزیکی تلقی می‌شود و نیروی ایجاد شونده بین ناخالصی‌ها و سطح فعال جاذب، از نوع واندروالسی است (Gupta, 2017). خاک‌های رنگبر فعال متداول ترین جاذب‌ها برای خالص‌سازی و بهبود رنگ چربی‌ها و روغن‌ها هستند و ماده خام اولیه مورد نیاز برای تولید این خاک‌ها بنتونیت^۵ است. فعال‌سازی بنتونیت معمولاً با استفاده از اسیدهای معدنی (اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک) و حرارت‌دهی برای چند ساعت انجام می‌شود. فرآیند فعال‌سازی شامل زنجیره‌ای از واکنش‌های شیمیایی است که منجر به پروتونه شدن سطح خاک معدنی و افزایش سطح مخصوص آن می‌شود (Hussin ; Didi et al., 2009) و افزایش سطح مخصوص آن می‌شود (et al., 2011). پس از اسیدی کردن، سطح خاک وسعت یافته و

فرآیند رنگبری^۴ روغن‌های خوراکی جهت تولید روغن دارای رنگ روشن و کیفیت قابل قبول حائز اهمیت است. این بهبود رنگ در نتیجه خارج کردن ترکیبات آلی از قبیل کاروتنوئیدها، به‌ویژه بتاکاروتن و گزانتوفیل، همچنین کلروفیل، فتوفیتین و سایر ترکیباتی است که در ایجاد رنگ روغن دخالت دارند. فرآیند رنگبری شامل خارج کردن رنگدانه‌ها، ناخالصی‌ها، فلزات کم مقدار و محصولات اکسیداسیون می‌باشد. حذف این مواد در تصفیه روغن ضرورت دارد زیرا پایداری، ظاهر و کیفیت حسی روغن را ارتقاء می‌دهد (Okolo and Adejumo, 2014). فرآیند رنگبری به کمک خاک‌های جاذب یک

*- نویسنده مسئول: (Email: gharachorlo_m@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.82266

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد هیدج، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

تغییرات شیمیایی و یا فیزیکی شیمیایی به وجود آمده سبب افزایش قابل توجه قدرت رنگبری خاک می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۳). خاک رنگبر رایج در کارخانجات، خاک طبیعی از جنس سیلیکات آلومینیوم بوده که به منظور افزایش قابلیت جذب سطحی با اسید فعال شده است، این خاک معمولاً به میزان ۰/۵ تا ۱ درصد روغن مصرفی استفاده می‌شود. در فرآیند رنگبری، خاک رنگبر با روغن مخلوط و پس از اتمام فرآیند رنگبری، خاک رنگبر از روغن جدا می‌شود. به دلیل جذب سطحی بالا، خاک رنگبر می‌تواند حاوی ۲۰ تا ۴۰ درصد روغن باشد که این میزان بالای جذب موجب اتلاف مقدار زیادی روغن می‌شود. از طرف دیگر خاک رنگبر مصرفی به دلیل داشتن روغن، سریع اکسید شده و قابلیت اشتعال پذیری بالایی نیز دارد که همین مسائل موجب شده تا دفع این خاک معضل بسیار بزرگی به خصوص در کشورهای صنعتی باشد (شکرچی زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در نتیجه لازم است با بهبود قدرت جذب‌های مورد استفاده از میزان مصرف این ترکیبات کاسته و راندمان فرآیند را بهبود بخشید. اکسید منیزیم و اکسید آلومینیوم دو جز اصلی موجود در خاک‌های رنگبر هستند. روغن‌های گیاهی نظیر آفتابگردان، سویا، کتان و غیره حاوی رنگدانه‌هایی هستند که در دسته ترکیبات غیرصابونی شونده قرار می‌گیرند. مقدار رنگدانه‌ها در روغن‌های مختلف وابسته به وارپته دانه روغنی، شرایط رشد آن و تکنولوژی استخراج روغن گیاهی متفاوت است. میزان رنگ روغن‌ها همواره توسط سازمان‌های تعیین کننده استاندارد به عنوان یک پارامتر کیفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Prokopov and Mechenov, 2013). بنتونیت یک ماده معدنی است که از مخلوط تعداد زیادی از کانی‌های مختلف درست شده است. کانی اصلی تشکیل‌دهنده ماده معدنی بنتونیت، مونت موریلونیت^۱ است. به طور معمول در بنتونیت استخراج شده افزون بر مونت موریلونیت کانی‌های غیررسی دیگری مانند کوارتز، فلدسپار، کلسیت، ژپس و کانی‌های رسی دیگری مانند کائولینیت، ایلیت و غیره یافت می‌شوند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ناجی و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد هر نوع بنتونیت وابسته به کمیت و کیفیت مونت موریلونیت است. این واحد ساختاری از یک لایه هشت وجهی آلومینیومی قرار گرفته در بین دو لایه چهار وجهی سیلیسی تشکیل شده است. در لایه‌های هشت وجهی معمولاً یون‌هایی با ظرفیت کمتر مانند Mg^{2+} و Fe^{2+} جایگزین Al^{3+} شده و این جانشینی منجر به عدم توازن الکتریکی می‌شود که در چنین مواردی بار منفی با جذب کاتیون‌های خارجی مانند Na^+ ، K^+ و Ca^{2+} خنثی می‌گردد. به طور کلی جانشینی یک کاتیون در شبکه به جای کاتیون دیگر و جذب این کاتیون‌ها منجر به ایجاد خاصیت تعویض‌پذیری کاتیونی بنتونیت‌ها می‌شود. با توجه به خواص مذکور، این کانی قابلیت استفاده به عنوان جذبی موثر در رنگبری روغن‌های خوراکی و صنعتی را دارا می‌باشد

مواد و روش‌ها

خاک رنگبر با ترکیب ارائه شده در جدول ۱ از شرکت کانی‌ساز جم و روغن سویای صمغ‌گیری و خنثی‌شده از شرکت روغن نباتی بهشهر تهیه شد. سایر مواد شیمیایی و تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش شامل: آب اکسیژنه (Sigma Aldrich، آلمان)، اتانول (بیدستان، ایران)، اسیداستیک گلاسیال، اسید نیتریک، اکسید آلومینیوم، اکسید منیزیم، سیلیکون دی‌اکسید، تیوسولفات سدیم، دی‌اتیل اتر، کلروفرم، معرف فنل فتالین، نشاسته، هگزان، هیدروکسید پتاسیم، هیدروکلریک اسید، دیدیپتاسیم، از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. تجهیزات شامل آون (Memert، آلمان)، اسپکتروفتومتر (Varian، آمریکا)، پمپ خلاء (Emerson، آمریکا)، ترازو (Mettler، آمریکا)، طیف‌سنج اتمی (Varian spectra.200، آمریکا)، لایو باند (PFX-990، آمریکا)، میکروویو (Ethos، ایتالیا)، هیت استیرر (Heidolph، آلمان) واقع در مجتمع آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران مورد استفاده قرار گرفت

۱ Montmorillonite

جدول ۱- ترکیب شیمیایی و ویژگی های خاک رنگبر

ترکیب خاک رنگبر (درصد)						
L.O.I	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
۱۴	۰/۵۱	۰/۱۳	۱/۳۵	۰/۶۱	۷/۳۹	۷۳/۹۶
ویژگی های خاک رنگبر						
اندازه ذرات	رطوبت	چگالی حجمی	رنگ	pH		
۲۲-۲۸ میکرون	۸-۱۰ درصد	۴۵۰-۵۵۰ گرم بر لیتر	سفید- خاکستری	۳-۴		

فعال سازی اسیدی خاک رنگبر

آلومینیوم اسیدی، اکسید منیزیم اسیدی و همچنین خاک رنگبر تجاری براساس جدول (۲) به میزان ۲ درصد اضافه شد و پس از برقراری خلاء (۹ mmHg) در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد و زمان ۳۰ دقیقه همراه با همزدن عمل رنگبری انجام گرفت. سپس حرارت دهی متوقف شد و ۳۰ دقیقه دیگر همزدن ادامه یافت و پس از رساندن دمای روغن به ۵۰ درجه سانتی گراد، با استفاده از قیف بوختر، کاغذ صافی واتمن شماره ۴۱ و ارلن خلاء، عمل صاف کردن (۳ مرتبه) تا رسیدن به روغن شفاف انجام شد (قوامی و همکاران، ۱۳۸۷).

به منظور فعال سازی اسیدی خاک های رنگبر، نسبت ۱:۳ وزنی / وزنی اسید هیدروکلریک و خاک رنگبر مخلوط شدند و سوسپانسیون حاصله تحت همزدن حرارت دهی شد، سپس با استفاده از آب مقطر تا رسیدن به pH برابر با ۳/۵ رقیق سازی صورت گرفت. سپس مخلوط حاصله صاف شد و در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد خشک گردید. خاک خشک شده در نهایت آسیاب شده و از الک با مش ۲۰۰ عبور داده شد و جهت رنگبری روغن استفاده شد (قاسمی افشار، ۱۳۹۳).

اندیس پراکسید

اندازه گیری عدد پراکسید به روش یدومتری از طریق تیتراسیون روغن با تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال و مطابق استاندارد AOCS به شماره Cd8-53 انجام شد (AOCS, 2007).

رنگبری روغن سویا

۲۰۰ گرم روغن خنثی شده در بالن دو دهانه مجهز به سیستم خلاء، داماسنج و همزن مغناطیسی توزین و سپس خاک های رنگبر متشکل از درصد های مختلف سیلیس، اکسید آلومینیوم، اکسید منیزیم، اکسید

جدول ۲- جاذب های مورد استفاده جهت رنگبری

تیمار	خاک رنگبر (%)	سیلیس (%)	اکسید آلومینیوم (%)	اکسید منیزیم (%)	اکسید آلومینیوم اسیدی (%)	اکسید منیزیم اسیدی (%)
۱	-	-	-	-	-	-
۲	۱۰۰	-	-	-	-	-
۳	۵۰	-	۵۰	-	-	-
۴	۵۰	-	-	۵۰	-	-
۵	۵۰	۳۵	۱۰	۵	-	-
۶	۹۵	-	۵	-	-	-
۷	۹۰	-	۱۰	-	-	-
۸	۹۵	-	-	۵	-	-
۹	۹۰	-	-	۱۰	-	-
۱۰	۹۵	-	-	-	۵	-
۱۱	۹۰	-	-	-	۱۰	-
۱۲	۹۵	-	-	-	-	۵
۱۳	۹۰	-	-	-	-	۱۰

اندیس اسیدی

روش تیتراسیون با محلول قلیایی در مجاورت محلول فنل فتالین و مطابق استاندارد AOCS به شماره Cd 3d-63 انجام شد (AOCS, 2007).

اندیس اسیدی مقدار میلی گرم هیدروکسید پتاسیم لازم جهت خنثی کردن اسید های چرب آزاد موجود در یک گرم روغن می باشد که به

اندازه‌گیری کلروفیل

مقدار کلروفیل نمونه‌های روغن با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در سه طول موج ۶۳۰، ۶۷۰ و ۷۱۰ نانومتر اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه ۱ مقدار کلروفیل مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۵۹۵۲ محاسبه گردید

$$C = 3/345 \times (A670 - 5/0 \times A630 - 5/0 \times A710) / L \quad (1)$$

که در آن C: محتوای رنگدانه کلروفیل (برحسب میلی گرم فتوفتین / کیلوگرم روغن)، A: جذب در طول موج‌های مذکور (نانومتر)، L: ضخامت سل اسپکتروفوتومتر (میلی متر) می‌باشد.

اندازه‌گیری کاروتنوئید

میزان کاروتنوئید نمونه‌های روغن توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر با اندازه‌گیری جذب نور محلول روغن در طول موج ۴۵۵ نانومتر و با استفاده از رابطه ۲ مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۶۶۸۶ اندازه‌گیری شد.

$$\text{Carotenoid (mg/kg)} = \frac{A_{470} \times 10^6}{2000 \times 100 \times d} \quad (2)$$

که در آن A: میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر، ۲۰۰۰: ضریب خاموشی (E₀) برای لوتئین (ترکیب عمده از گروه کاروتنوئید) و d: ضخامت سل (سانتی متر) می‌باشد.

اندازه‌گیری رنگ توسط دستگاه لایو باند

میزان رنگ زرد و قرمز نمونه‌های روغن با استفاده از دستگاه لایو باند و مطابق روش AOCS به شماره CC 13c-50 تعیین شد (AOCS, 2007).

تعیین مقدار فلزات مس و آهن

جهت اندازه‌گیری مقدار فلزات مس و آهن، نمونه‌های روغن با اسید نیتریک و آب اکسیژنه مخلوط و به منظور هضم اسیدی درون میکروویو قرار داده شد. غلظت یون‌های مس و آهن موجود در نمونه‌های روغن دستگاه جذب اتمی مدل Varian spectra.200 و مطابق روش AOCS به شماره Ca15-75 اندازه‌گیری شد (AOCS, 2007).

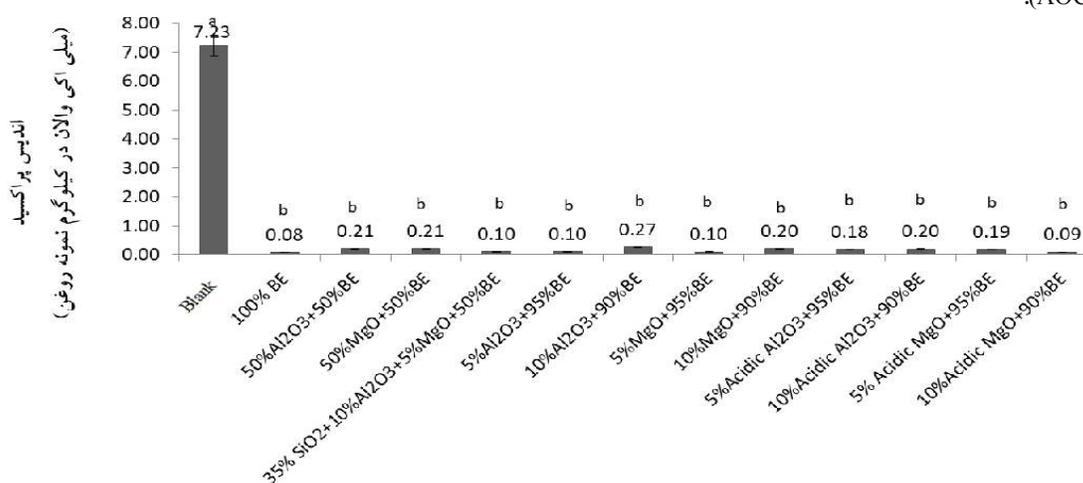
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام و نتایج با نرم‌افزار SPSS آنالیز گردید. سطح معنی‌داری برای مقایسه میانگین‌ها در تمام آزمون‌ها ۵ درصد در نظر گرفته شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۰ استفاده شد.

نتایج و بحث

اندیس پراکسید

در شکل ۱، تغییرات میانگین اندیس پراکسید روغن سویای رنگبری شده با ۲ درصد وزنی خاک رنگبر متشکل از درصد‌های مختلف خاک رنگبر تجاری، سیلیس، اکسید آلومینیوم و اکسید منیزیم، اکسید آلومینیوم اسیدی، اکسید منیزیم اسیدی نشان داده شده است. نمونه شاهد یا بلانک (روغن خام خنثی شده بدون رنگبری) دارای بیشترین میزان اندیس پراکسید (۷/۲۳ میلی‌اکی‌وا لان بر کیلوگرم روغن) بود و در تمامی جاذب‌های مورد بررسی، اندیس پراکسید نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت (p < ۰/۰۵).



نمونه‌های مورد بررسی

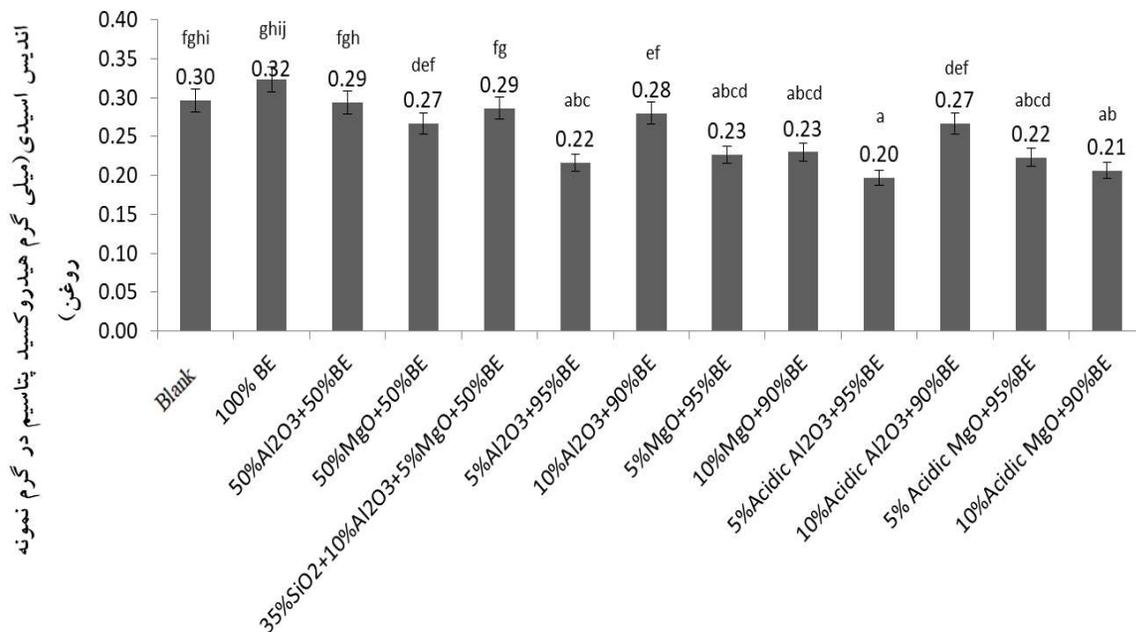
شکل ۱- تغییرات میانگین اندیس پراکسید روغن سویا رنگبری شده با جاذب‌های مختلف * حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح (p < ۰/۰۵) می‌باشد.

دادند. نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد هر دو نوع خاک رنگبر (طبیعی و فعال شده با اسید) در کاهش پراکسید موثر بوده است. همچنین Pourklantar و همکاران (۲۰۱۹)، که به بررسی شرایط مختلف رنگبری پرداخته بودند نشان دادند که با افزایش درصد خاک رنگبر مصرفی در مرحله رنگبری مقادیر عدد پراکسید کاهش یافت. مقادیر کم پراکسید بیانگر آن است که روغن می‌تواند بدون بروز فساد، برای مدت زمان طولانی نگهداری شود. کاهش عدد پراکسید طی رنگبری ممکن است در نتیجه تجزیه پراکسیدها در اثر ماهیت اسیدی سطح خاک رنگبر صورت گیرد (Okolo and Adejumo, 2014).

اندیس اسیدی

بر اساس نتایج حاصله در شکل ۲، میزان اندیس اسیدی در نمونه‌های رنگبری شده با جاذب‌های متشکل از ۹۵ درصد خاک رنگبر و ۵ درصد اکسید آلومینیوم، ۹۵ درصد خاک رنگبر و ۵ درصد منیزیم، ۹۰ درصد خاک رنگبر و ۱۰ درصد اکسید منیزیم، ۹۵ درصد خاک رنگبر و ۵ درصد اکسید آلومینیوم اسیدی، ۹۵ درصد خاک رنگبر و ۵ درصد اکسید منیزیم اسیدی همچنین ۹۰ درصد خاک رنگبر و ۱۰ درصد اکسید منیزیم اسیدی نسبت به نمونه شاهد و نمونه رنگبری شده با خاک رنگبر تجاری کاهش یافت ($p < 0.05$).

آزمون دانکن میانگین نتایج اندیس پراکسید بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین جاذب‌های مورد استفاده بود که می‌تواند بیانگر عملکرد یکسان جاذب‌های مورد استفاده با خاک رنگبر تجاری در کاهش پراکسید نمونه‌های روغن باشد. میزان اندیس پراکسید در جاذب‌های مورد استفاده نسبت به نمونه شاهد ۹۶/۳-۹۸/۹ درصد کاهش یافت. قوامی و همکاران (۱۳۸۲)، در بررسی اثر فرآیند تصفیه بر خصوصیات کیفی روغن سویا نشان دادند که رنگبری توسط خاک فعال شده با اسید نقش مؤثری در کاهش اندیس پراکسید در نتیجه جذب پراکسیدها توسط خاک رنگبر دارد. Farhoosh و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی اثر مراحل تصفیه بر اندازه‌گیری اکسیداسیون روغن-های سویا و کانولا پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد طی رنگبری اندیس پراکسید هر دو روغن کاهش یافت. اندیس پراکسید جهت تعیین غلظت پراکسیدها و هیدروپراکسیدها و نیز رنسدیتی اکسیداتیو استفاده می‌شود و میزان آن در روغن دارای کیفیت خوب کمتر از ۱۰ میلی‌اکی والان بر کیلوگرم روغن است. نتایج این بررسی در تطابق با یافته‌های Skevin و همکاران (۲۰۱۲)، بود. آنها گزارش کردند روغن خنثی شده-ای که با ۱ درصد خاک رنگبر فعال شده با اسید رنگبری شده بود دارای کمترین مقادیر عدد پراکسید بود. Silva و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر نوع و میزان خاک رنگبر بر کیفیت نهایی روغن پالم تصفیه شده، خصوصا از نظر پایداری اکسیداتیو را مورد بررسی قرار دادند. دو نوع خاک رنگبر (طبیعی و فعال شده با اسید) در غلظت ۳-۵ درصد مورد استفاده قرار



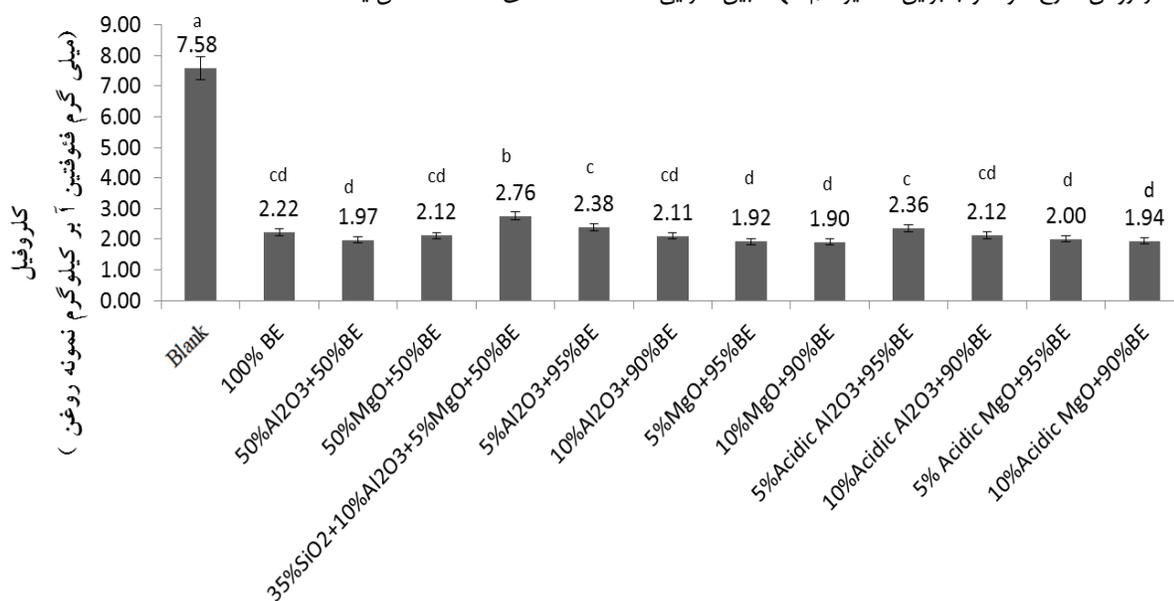
نمونه های مورد بررسی

شکل ۲- تغییرات میانگین اندیس اسیدی روغن سویا رنگبری شده با جاذب‌های مختلف * حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ($p < 0.05$) می‌باشد.

فرآیند تصفیه و کیفیت خوب روغن می‌باشد (Okolo and Adejumo, 2014)

کلروفیل

با توجه به شکل ۳، مقدار کلروفیل در نمونه‌های روغن رنگبری شده با جاذب‌های مورد استفاده نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ($p < 0.05$). مقدار کلروفیل در نمونه شاهد ۷/۵۸ میلی‌گرم فتوفیتین A بر کیلوگرم نمونه روغن بود و در نمونه رنگبری شده با خاک رنگبر متشکل از ۹۰ درصد خاک رنگبر تجاری و ۱۰ درصد اکسید منیزیم، به ۱/۹۰ میلی‌گرم فتوفیتین A بر کیلوگرم نمونه روغن رسید و به میزان ۶۵/۹۶ درصد کاهش یافت. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیقات مشابه سایر محققین در این زمینه مطابقت دارد. ناجی و همکاران در سال ۱۳۸۹ به بررسی تأثیر خاک‌های رنگبر مختلف بر کیفیت برخی روغن‌های خوراکی پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد کلروفیل در روغن سویا، کلزا، آفتابگردان و پالم بعد از رنگبری با خاک‌های مختلف کاهش یافت.



نمونه‌های مورد بررسی

شکل ۳- تغییرات میانگین مقدار کلروفیل روغن سویا رنگبری شده با جاذب‌های مختلف * حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ($p < 0.05$) می‌باشد.

و اکسید آهن کاهش و نسبت سیلیس افزایش می‌یابد (Hussin *et al.*, 2011). Didi و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی رنگبری روغن کلزا از طریق بهینه‌سازی- فعال‌سازی بنتونیت و مقایسه آن با دیگر خاک‌های رنگبر تجاری موجود در بازار پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد پس از فعال‌سازی محتوی سیلیکا، آلومینا و منیزیا در خاک

به‌طوریکه استفاده از جاذب متشکل از ۹۵ درصد خاک رنگبر تجاری و مقادیر ۵ درصد اکسید آلومینیوم و ۵ درصد اکسید آلومینیوم اسیدی به‌ترتیب باعث کاهش ۳۳/۳۳ و ۲۶/۶۶ درصدی و استفاده از جاذب متشکل از ۹۵ درصد خاک رنگبر تجاری و مقادیر ۵ درصد اکسید منیزیم و ۵ درصد اکسید منیزیم اسیدی به‌ترتیب باعث کاهش ۲۳/۳۳ و ۲۶/۶۶ درصدی اندیس اسیدی گردید. نتایج به‌دست آمده در تأیید نتایج تحقیقات Farhoosh و همکاران (۲۰۰۹)، بود که به بررسی اثر مراحل تصفیه بر اندازه گیری اکسیداسیون روغن‌های سویا و کانولا پرداختند، نتایج پژوهش آنها نشان داد طی رنگبری، اندیس اسیدی هر دو روغن به مقدار فراوانی کاهش یافت. اسیدهای چرب آزاد در نتیجه هیدرولیز تری گلیسیریدها تشکیل می‌شوند و اندازه‌گیری آنها جهت تعیین اکسیداسیون چربی‌ها و روغن‌ها اهمیت دارد. همچنین Pourklantar و همکاران (۲۰۱۹)، که به بررسی شرایط مختلف رنگبری پرداختند، نشان دادند که مراحل رنگبری اثر چندانی بر کاهش مقادیر اسیدهای چرب آزاد نداشته است. اسیدهای چرب جزء ترکیبات نامطلوب هستند که باید از روغن خارج شوند و بنابراین مقادیر کم آنها مبین کارایی

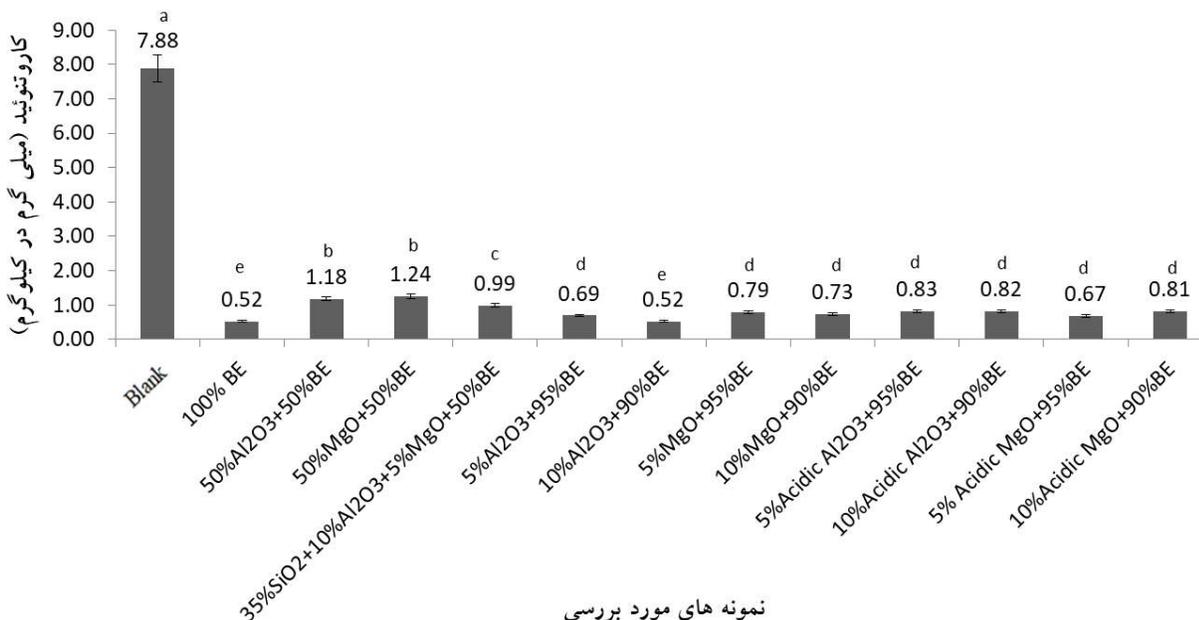
بر اساس تحقیقات صورت گرفته پیشین، در بین ترکیبات تشکیل‌دهنده خاک رنگبر، در اثر فعال‌سازی اکسید منیزیم با سهولت بیشتری نسبت به بقیه جدا شده در حالی که اکسید آلومینیوم به سختی حل می‌شود. با افزایش غلظت اسید فعال‌سازی، در اثر انحلال، میزان اسیدهای ساختار هشت وجهی از جمله اکسید آلومینیوم، اکسید منیزیم

رسید و به میزان ۹۳/۴۰ درصد کاهش یافت. بتاکاروتن به فرم یون‌های کاربونیوم به‌وسیله تشکیل پیوند با سایت‌های لوئیس یا بوسیله تشکیل پیوندهای هیدروژن با جایگاه‌های برونشند خاک رنگبر فعال به سطح خاک چسبیده و جدا می‌شود (Hussin *et al.*, 2011). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیقات مشابه سایر محققین در این زمینه مطابقت دارد. Prokopov و Mechenov (۲۰۱۳) از خاک رنگبر بنتونیت بولگاری جهت فرآیند تصفیه روغن استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که استفاده از خاک رنگبر منجر به کاهش میزان کاروتنوئیدها شد. Silva و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر خاک رنگبر طبیعی و فعال شده با اسید هر دو در مقادیر ۰/۵، ۱/۵ و ۳ درصد وزنی/وزنی بر رنگ نهایی روغن پالم تصفیه شده پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد محتوی بتا-کاروتن در هر دو نوع خاک رنگبر و در ۳ درصد وزنی/وزنی به مقدار قابل توجهی کاهش یافت. افزایش در راندمان کاهش کاروتنوئیدها در نتیجه افزایش جایگاه‌های فعال بر روی بنتونیت می‌باشد (Ghasemi Afshar *et al.*, 2014). Mauricio و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی خاک رنگبر و کربن فعال را با یکدیگر مخلوط کردند تا مرحله رنگ بری روغن ماهی کپور را بهینه کنند و توانستند کاروتنوئید را تا حد ممکن حفظ کنند. حذف کامل کاروتن‌ها در طول رنگبری ممکن نیست و ضرورت نیز ندارد زیرا این ترکیبات مقاوم به حرارت نیستند و می‌توانند در طول دمای بالای بی بو کردن تجزیه شوند. جذب کاروتنوئیدها توسط خاک رنگبر می‌تواند توسط مکانیسم فیزیکی یا شیمیایی صورت پذیرد (Gibon *et al.*, 2007).

رنگبر فعال شده و همچنین میزان کلروفیل پس از رنگبری به میزان قابل توجهی کاهش یافت. Makhoukhi و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی فعال‌سازی اسیدی بنتونیت برای رنگبری روغن‌های گیاهی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد محتوی کلروفیل پس از رنگبری توسط خاک رنگبر فعال شده با اسید به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. گزارش شده است که افزودن اسید منیزیم می‌تواند فعالیت خاک‌های رنگبری را افزایش دهد (De *et al.*, 2009). صانعی و همکاران (۲۰۱۵) پس از رنگبری روغن به‌وسیله سیپولیت فعال شده اسیدی، نشان دادند که میزان کلروفیل و بتاکاروتن از ۱۲/۹۸ و ۳۹/۸۳ در روغن رنگبری نشده به ۴/۰۲ و ۱۸/۸۶ پی‌پی‌ام کاهش یافت. همچنین مشاهده شده است کانی‌های که دارای مقادیر اکسید منیزیم بیشتری در ساختار خود هستند نسبت به انواع دارای محتوی اکسید منیزیم کمتر، پس از استفاده از اسیدهای معدنی، در زمینه رنگبری فعال‌تر عمل می‌کنند (Foletto *et al.*, 2011).

کاروتنوئید

با توجه به شکل ۴، مقدار کاروتنوئید در نمونه‌های روغن رنگبری شده با جاذب‌های مورد استفاده نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ($p < 0.05$). مقدار کاروتنوئید در نمونه شاهد ۷/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم نمونه روغن بود و در نمونه رنگبری شده با (خاک رنگبر تجاری) و نیز خاک رنگبر متشکل از (۹۰ درصد خاک رنگبر تجاری و ۱۰ درصد اکسید آلومینیوم)، به ۰/۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نمونه روغن

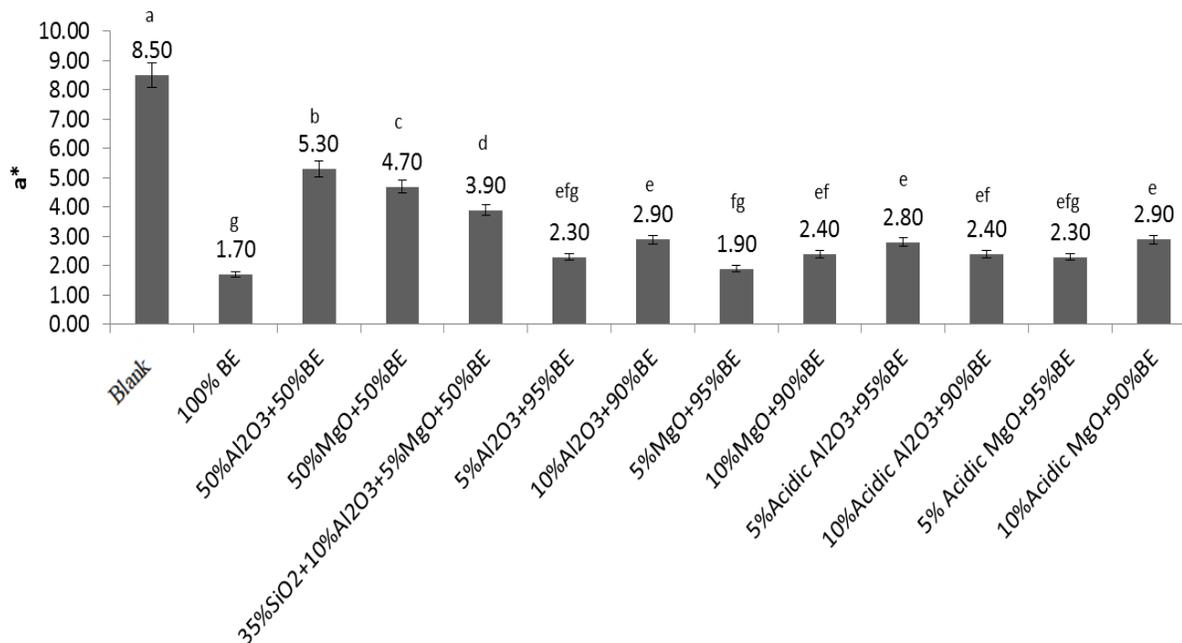


نمونه های مورد بررسی

شکل ۴- تغییرات میانگین مقدار کاروتنوئید روغن سویا رنگبری شده با جاذب‌های مختلف * حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ($p < 0.05$) می‌باشد.

رنگ

با توجه به شکل ۵، رنگ قرمز در نمونه‌های روغن رنگبری شده با جاذب‌های مورد استفاده نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ($p < 0.05$). رنگ قرمز در نمونه شاهد ۸/۵۰ بود و در نمونه رنگبری شده با خاک رنگبری تجاری به ۱/۷۰ رسید و به میزان ۸۰ درصد کاهش یافت. آزمون دانکن میانگین رنگ قرمز بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین



نمونه‌های مورد بررسی

شکل ۵- تغییرات میانگین رنگ قرمز روغن سویا رنگبری شده با جاذب‌های مختلف

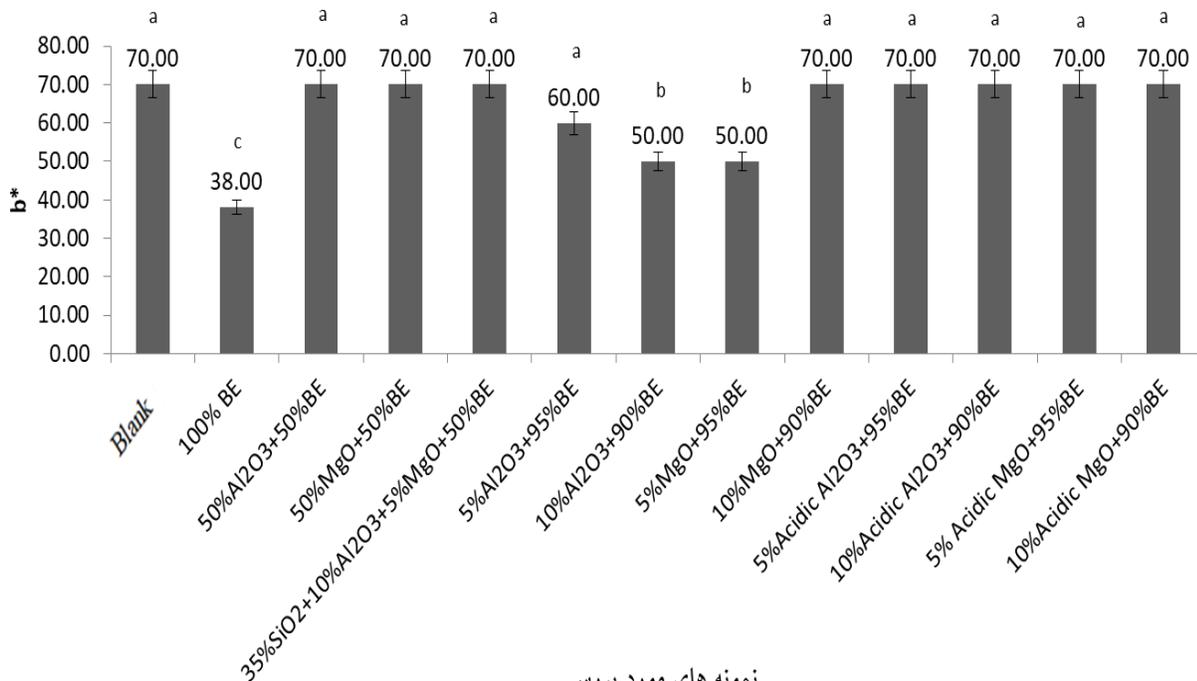
* حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ($p < 0.05$) می‌باشد.

حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیقات مشابه سایر محققین در این زمینه مطابقت دارد. Kaynak و همکاران (۲۰۰۴) به ارزیابی خصوصیات روغن آفتابگردان در واحد رنگبری کارخانه تصفیه روغن پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش دوز خاک رنگبری از ۰/۲ به ۰/۶ درصد، میزان رنگ قرمز لایه باند نسبت به نمونه خنثی شده به میزان قابل توجهی کاهش یافت. قوامی و همکاران در سال ۱۳۸۲ به بررسی اثر فرآیند تصفیه بر خصوصیات کیفی روغن سویا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد میزان رنگ زرد و قرمز در تصفیه با خاک رنگبری فعال شده با اسید به ترتیب ۲۸/۵۷ و ۸۰ درصد کاهش یافت. صانعی و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی فعال‌سازی اسیدی خاک رس سپیولیت به منظور رنگبری روغن‌های خوراکی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد سپیولیت فعال شده قدرت رنگبری بیشتری در مقایسه با سپیولیت طبیعی داشت که به دلیل افزایش میزان گروه‌های سیلیسی بود. همچنین میزان رنگ قرمز و زرد پس از رنگبری توسط

همچنین با توجه به شکل ۶، رنگ زرد در نمونه‌های روغن رنگبری شده با جاذب‌های مورد استفاده (خاک رنگبری تجاری، خاک رنگبری متشکل از ۹۰ درصد خاک رنگبری تجاری و ۱۰ درصد اکسید آلومینیوم و خاک رنگبری متشکل از ۹۵ درصد خاک رنگبری تجاری و ۵ درصد اکسید منیزیم) نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ($p < 0.05$). به طوریکه میزان رنگ زرد در نمونه شاهد برابر ۷۰/۰۰ بود و در تیمارهای یاد شده به ترتیب به مقادیر ۳۸، ۵۰، ۵۰ واحد لایه باند کاهش یافت. مقادیر رنگ زرد در سایر نمونه‌های رنگبری شده با نمونه شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت. رنگ قرمز و زرد روغن طی مراحل مختلف تصفیه خصوصاً مراحل رنگبری و بویگیری به دلیل جذب ترکیبات رنگی توسط خاک رنگبری کاهش می‌یابد و میزان کاهش رنگ روغن طی رنگبری به نوع خاک رنگبری مورد استفاده بستگی دارد (قوامی و همکاران، ۱۳۸۲). همچنین هرچه گروه‌های سیلیسی در خاک رنگبری بیشتر باشند قدرت رنگبری خاک افزایش می‌یابد (Lin and Lin, 2005). نتایج

خاک رنگبر فعال شده به طور معنی داری کاهش یافت (Didi *et al.*, 2009). Makhoukhi و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی فعال سازی اسیدی بنتونیت برای رنگبری روغن های گیاهی پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد میزان رنگ قرمز و زرد پس از رنگبری توسط خاک رنگبر فعال شده با اسید به طور معنی داری کاهش یافت. فعال - سازی با اسید سبب تعویض و جایگزینی کاتیون های Al^{3+} ، Fe^{3+} و Mg^{2+} با H^+ در ساختار هشت وجهی بنتونیت و در نتیجه تغییر در ساختار کریستالی و افزایش نواحی سطحی خاک می شود (Ajemba

خاک رنگبر و کربن فعال را با یکدیگر مخلوط کردند تا مرحله رنگبری روغن ماهی کپور را بهینه کنند و توانستند رنگ تیره را کاهش دهند، که باعث شد روغن رنگبری شده کیفیت بهتری داشته باشد. حسینی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی اثر فرایند رنگبری روی خواص فیزیکی و شیمیایی روغن های دانه کانولا و آفتابگردان پرداختند. نتایج نشان داد که کاهش قابل توجهی در پراکسید و رنگ های قرمز و زرد روغن ها ایجاد شد.



نمونه های مورد بررسی

شکل ۶- تغییرات میانگین رنگ زرد روغن سویا رنگبری شده با جاذب های مختلف

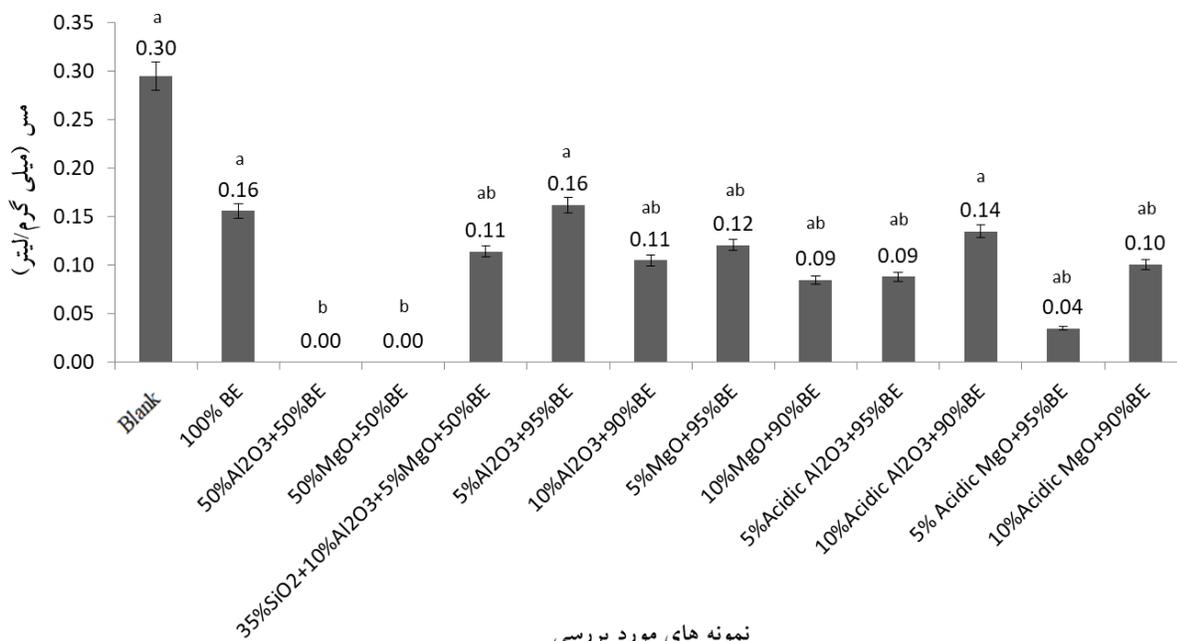
* حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح (p<0/05) می باشد.

شده با خاک رنگبر تجاری بود و میزان آهن به صفر رسید (p<0/05) و کاهش ۱۰۰ درصدی یافت. قوامی و همکاران (۱۳۸۲) به بررسی اثر فرایند تصفیه بر خصوصیات کیفی روغن سویا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد مقادیر فسفر، مس و آهن طی مراحل مختلف تصفیه خصوصا در حضور خاک رنگبری فعال شده با اسید به مقدار قابل توجهی کاهش یافت. ناجی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی تأثیر خاک های رنگبر مختلف بر روی کیفیت برخی روغن های خوراکی پرداختند و نتایج این پژوهش نشان داد بعد از رنگبری میزان مس و آهن در روغن کلزا، آفتابگردان و پالم کاهش یافت و تأثیر خاک های مختلف مشابه بود. Silva و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر خاک رنگبر طبیعی و فعال شده با اسید هر دو در مقادیر ۰/۵، ۱/۵ و ۳ درصد وزنی / وزنی بر رنگ نهایی روغن پالم تصفیه شده پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد

فلزات مس و آهن

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۷، مقدار مس در نمونه شاهد برابر ۰/۳۰ میلی گرم بر لیتر بود و مقدار آن در نمونه رنگبری شده با خاک متشکل از ۵۰٪ خاک رنگبر تجاری، ۵۰٪ اکسید آلومینیوم) و خاک متشکل از ۵۰٪ خاک رنگبر تجاری و ۵۰٪ اکسید منیزیم) به صفر رسید (p<0/05) و کاهش ۱۰۰ درصدی یافت. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۸، میزان آهن در نمونه شاهد برابر ۳/۳۰ میلی گرم بر لیتر بود و مقادیر آن در تمام نمونه های روغن رنگبری شده با جاذب های مورد استفاده نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت (p<0/05). بیشترین روند کاهش در حضور تیمار متشکل از ۵۰ درصد خاک رنگبر تجاری و ۵۰ درصد اکسید آلومینیوم و تیمار متشکل از ۵۰ درصد خاک رنگبر تجاری و ۵۰ درصد اکسید منیزیم نسبت به نمونه شاهد و نمونه رنگبری

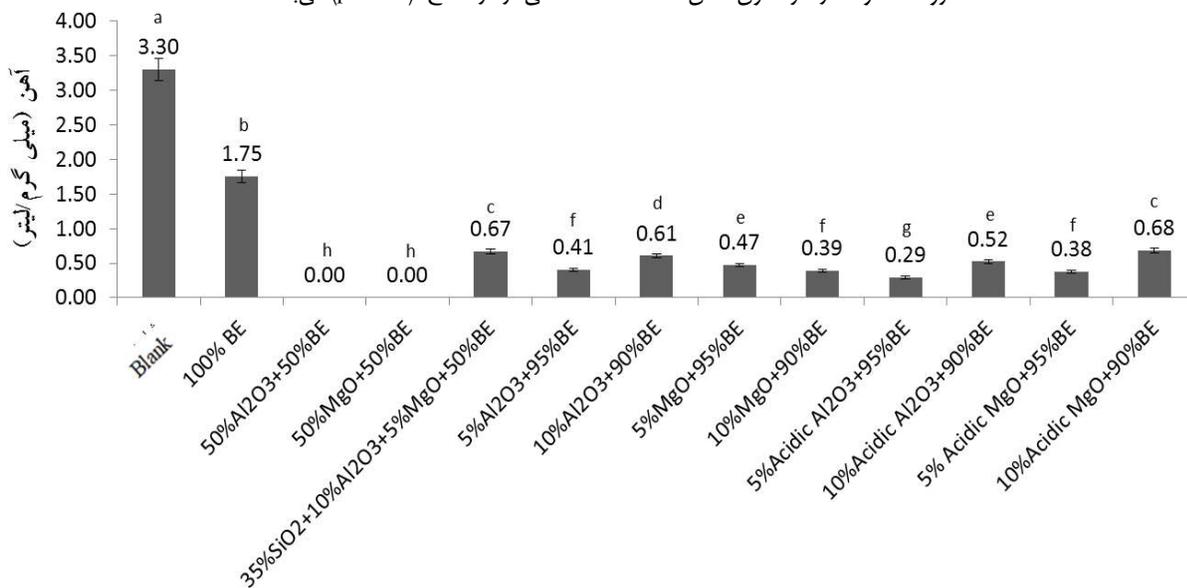
محتوی عنصر آهن در هر دو نوع خاک رنگبر و با افزایش مقدار خاک رنگبر به مقدار قابل توجهی کاهش یافت (Makhoukhi *et al.*, 2009).



نمونه های مورد بررسی

شکل ۷- تغییرات میانگین مقدار مس روغن سویا رنگبری شده با جاذب‌های مختلف

* حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح (p<0/05) می‌باشد.



نمونه های مورد بررسی

شکل ۸- تغییرات میانگین مقدار آهن روغن سویا رنگبری شده متشکل از درصد‌های مختلف خاک رنگبر

* حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح (p<0/05) می‌باشد.

نتیجه گیری

ترکیبات تشکیل دهنده، اندازه ذرات خاک‌های رنگبر تولیدی، تغییرات ساختاری یا انتخابی بودن فرآیند جذب نسبت داد. لذا با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود ویژگی‌های ساختاری جاذب‌های مورد استفاده و همچنین سایر خصوصیات کیفی روغن سویای رنگبری شده با جاذب‌های مورد استفاده مورد بررسی قرار گیرند.

باتوجه به یافته‌های حاصل از این پژوهش، افزودن اکسیدهای آلومینیوم و منیزیم به خاک رنگبر تجاری در کاهش اندیس پراکسید، عدد اسیدی، کلروفیل، کاروتنوئید، رنگ قرمز و زرد، مس و آهن موثر بود. تفاوت در عملکرد رنگبری جاذب‌های مورد استفاده را می‌توان به

منابع

- Abbasi, R., Gharachorloo, M., Ghavami, M., Asadi, Gh. 2014. Application of ultrasonic waves in bleaching of soybean oil and determination of time and temperature for ultrasonic bath. *Iranian Journal of Nutrition Science & Food Technology*, 9(2): 75-84.
- Ajemba, R.O., Onukwuli, O.D. 2012. Investigation of the Effects of Sulphuric Acid Modification on the Structuralband Bleaching Performance of Ukpor Clay. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 9: 9438-9445.
- AOCS. 2007. Official methods and recommended practice of the American oil chemist's society.
- Chakawa, D.P., Nkala, M., Hlabangana, N., Muzenda, E. 2019. The use of calcium sulphate dihydrate (CaSO₄.2H₂O) as a bleaching agent for crude soya bean vegetable oil. *Procedia Manufacturing*, 35, 802-807. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.07.014>.
- De, B.K., Patel, J. D., Patel, J. B., Patel, V.K., Patel, V.R. 2009. Bleaching of mustard oil with some alternative bleaching agents and acid activated clays. *Journal of Oleo Science*, 58:57-63.
- Didi, M.A., Makhoukhi, B., Azzouz, A. Villemin, D. 2009. Colza oil bleaching through optimized acid activation of bentonite. A comparative study. *Applied Clay Science*, 42(3-4): 336-344.
- Farhoosh, R., Einafshar, S., Sharayei, P. 2009. The Effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. *Food Chemistry*, 115: 933-938.
- Foletto, E.L., Colazzo G.C., Volzone C., Porto L.M. 2011. Sunflower oil bleaching by adsorption onto acid-activated bentonite. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(1): 169 – 174.
- Ghasemi Afshar, P., Honarvar, M., Gharachorloo, M., Eshratbadi, P., Bazzyar, B. 2014. Bleaching of vegteble oils using press mud obtained from sugar industry. *Pelagia Research Library*, 4(1): 677-684.
- Ghavami, M., Gharachorloo, M., Ghiassi Tarzi, B. 2008. Laboratory Techniques Oils & Fats. Islamic Azad University- Science and Research Branch, First edition:31-32.
- Ghavami, M., Gharachorloo, M., Mahasti, P. 2003. The Effect of purification process on quality characteristics of soybean oil. *Journal of Agricultural Sciences*, 9(3), 55-68.
- Ghobadi, M., Yuzbashi, A., Kashani Motlagh, M. 2008. Study on the structural changes occurred during the acid activation of Gharenaz bentonite as bleaching earth. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 16(1): 13-20.
- Gibon, V., Greyt, D.W., Kellens, M. 2007. Palm oil refining. *European journal of lipid science and technology*, 109(4): 315-335.
- Gupta, M. 2017. Practical guide to vegetable oil processing. Elsevier, second edition:54-57.
- Hoseini, S.M.S., Sarafi, A., Tahmooreesi, M. 2012. Laboratory study of balloon impact on the structure and strength of bentonite dyeing for the production of bleaching soil. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering of Iran*, 32(1): 35-45.
- Hussin, F., Aroua, M., Daud, W. 2011. Textural characteristics, surface chemistry and activation of bleaching earth: A review. *Chemical Engineering Journal*, 170(1): 90-106.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2001. Edible oils and fats. Carotenoids determination. ISIRI no 6686[in Persian].
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2001. Edible oils and fats. Chlorophyll determination. ISIRI no 5952[in Persian].
- Kaynak, G., Ersoz, M., Kara, H. 2004. Investigation of the properties of oil at the bleaching unit of an oil refinery. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(1):131-138.
- Lin, R., Lin, Ch. 2005. Kinetics of adsorption of free fatty acids from water-degummed and alkali-refined soy oil using regenerated clay. *Journal of Separation Purification Technology*, 44: 258-265.

- Makhoukhi, B., Didi, M.A., Villemin, D. 2009. Acid activation of bentonite for use as a vegetable oil bleaching agent. *Grasasy Aceites*, 60(4): 343-349.
- Mauricio, L., Monte, M.L., Monte, R.S., Pohndorf, V.T., Crexi and Luiz A.A.P. 2015. Bleaching with blend of bleaching earth and activated carbon reduces color and oxidation products of carp oil. *Lipid science*, 117, 829-836.
- Naji, M., Ghavami, M., Lari, A. 2010. The Effect of Different Bleaching Earths on the Quality Edible Oils. *Food Technology & Nutrition*, 7(4): 5-19.
- O'brien, R. 2008. *Fats and oils: formulating and processing for applications*. CRC press:67-68.
- Okolo, J.C., Adejumo, B.A. 2014. Effect of Bleaching on Some Quality Attributes of Crude Palm Oil. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 4: 25-28.
- Pourklantar, S., Asadollahi, S., Ishaq, M.R. 2019. Investigation on Oxidative Stability and Physicochemical Properties of Frying Oil Based On Palm Oil, Soybean Oil and Sunflower Oil under Various Conditions of Bleaching and Deodorizing. *FSC*. 2019; 15 (85) :1-11[in Persian].
- Prokopov, T., Mechenov, G. 2013. Utilization of spent bleaching earth from vegetable oil processing. *Ukrainian Food Journal*, 2(4):489-498.
- Saneei, M., Goli, S.A.H., Keramat, J., Shirvani, M. 2015. Acid activation of sepiolite clay to bleach edible oils. *Journal of Food Resarch*, 25(4): 689-698.
- Shokrehizad, H., Goli, S.U.H., Daghighi, H. 2012. Recovery and analysis of residual oil in soap dyes used in soybean oil purification. *Journal of Food Science and Technology of Iran*, 9(1): 104-101.
- Silva, S.M., Sampaio, K.A., Ceriani, R., Verh , R., Stevens, C., Greyt, W.D., Meirelles, A.J.A. 2014. Effect of type of bleaching earth on the final color of refined palm oil. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2): 1258-1264.
- Škevin, D., Domijan, T., Kraljić, K., Gajdoš Kljusurić, J., Neđeral, S., Obranović, M. 2012. Optimization of bleaching parameters for soybean oil. *Food Technology and Biotechnoly*. 50(2) 199–207.



Physical and chemical properties of soybean oil bleached with bleaching earth containing increased amounts of aluminum and magnesium oxides

B. Khaligh¹, M. Gharachorloo^{*2}, P. Ghasemi Afshar³

Received: 2019.08.02

Accepted: 2019.11.27

Introduction: The impurities of the oil and its pigments are basically removed from the oil by physical adsorption using an adsorbent during the bleaching process. The bleaching process involves the removal of pigments, impurities, metals and oxidation products. Removal of these substances is essential in oil refining because it improves the stability, appearance and sensory quality of the oil. Activated bleaching earth is the most commonly used adsorbent for purifying and improving the color of fats and oils. The bleaching process of edible oils is important for producing light colored oils with acceptable quality. The aim of this study was to evaluate the physical and chemical properties of soybean oil bleached with bleaching earth containing increased amounts of aluminum and magnesium oxides.

Material and Methods: Bleaching earth was purchased from Kanisaz Jam Company. Degummed and neutralized soybean oil was obtained from Behshahr Vegetable Oil Company. Different amounts of aluminum oxide and magnesium oxide were added to commercial bleaching earth. Activation of the adsorbents was performed with hydrochloric acid and oil bleached at 110°C for 30 min under vacuum by adding 2% of adsorbent containing different percentages of silica, aluminum and magnesium oxides. A series of physical and chemical tests such as peroxide value, acid value, chlorophyll content, carotenoid content, yellow and red colors and amounts of copper and iron were then carried out on the neutralized and bleached oils according to the standard methods. All the experiments and/or measurements were carried out in triplicate. Data were statistically analyzed using the Statistical Analysis System software package on replicated test data. Analysis of variance was performed by application of an ANOVA procedure. Significant differences between the means were determined using the Duncan multiple range test.

Result and Discussion: The results of this study showed that the examined adsorbents reduced the peroxide value to 98.9-96.3%. Application of the adsorbents containing 95% commercial bleaching earth - 5% aluminum oxide and 95% commercial bleaching earth - 5% acidic aluminum oxide reduced the acid value by 33.33% and 26.66%, respectively. The amount of chlorophyll in the control sample was 7.58 mg Pheophytin A/kg oil, which reduced 65.66% by using adsorbent containing 90% commercial bleaching earth and 10% magnesium oxide and reached to 1.90 mg Pheophytin A/kg. The amount of carotenoids in the control sample was 7.88 mg/kg. Using the adsorbent containing 90% commercial bleaching earth and 10% magnesium oxide decreased carotenoids up to 93.40%. Adsorbents containing 95% commercial bleaching earth and 5% aluminum oxide, 95% commercial bleaching earth and 5% magnesium oxide, 95% commercial bleaching earth and 5% acidic magnesium oxide and commercial bleaching earth had the same effect on red color reduction. Yellow color in the oil samples treated with commercial bleaching earth, adsorbent consisting of 90% commercial bleaching earth - 10% aluminum oxide, and adsorbent containing 95% commercial bleaching earth - 5% magnesium oxide was reduced and reached to 38, 50 and 50 Lovibond, respectively as compared to the control sample with yellow color of 70.00 Lovibond. Copper and iron decreased 100% by using adsorbents containing 50% commercial bleaching earth and 50% aluminum oxide or 50% commercial bleaching earth and 50% magnesium oxide.

According to our findings, the addition of aluminum and magnesium oxides to commercial bleaching earth was effective in reduction of peroxide value, acid value, chlorophyll, carotenoid, red and yellow color, copper and iron. Also, the results showed that the best adsorbent contain about 50% aluminum and magnesium oxides. Aluminum and magnesium oxides can improve the performance of bleaching earths.

Keywords: Aluminum oxide, magnesium oxide, bleaching earth, bleaching, soybean oil

1. MSc Graduated of the Department of Food Science & Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor of the Department of Food Science & Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor of the Department of Food Science & Technology, Hidaj Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran.

(* Corresponding author. E-mail: gharachorlo_m@yahoo.com)

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر جایگزینی آرد گندم با مشتقات پروتئینی سویا بر افزایش فعالیت بازدارندگی آنزیم مبدل آنژیوتنسن پپتیدهای زیست فعال خمیر

رضا با تقوا¹ - معصومه مهربان سنگ آتش^{2*} - احمد احتیاطی²

تاریخ دریافت: 1398/06/05

تاریخ پذیرش: 1398/09/18

چکیده

تحقیقات نشان داده است که برخی پپتیدهای زیست فعال با بازدارندگی آنزیم مبدل آنژیوتنسن (ACE)، باعث حفظ انعطاف پذیری دیواره رگ‌ها و جلوگیری از افزایش فشار خون می‌شوند. پروتئین سویا به‌عنوان یک منبع این‌گونه پپتیدها شناخته شده است. در این تحقیق، از طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل برای بررسی اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا، پروتئین سویا اکستروود شده و هیدرولیزات پروتئین سویا در سطح‌های 5 و 10 درصد جایگزین آرد گندم و سه زمان تخمیر 30، 60 و 90 دقیقه، جهت بررسی فعالیت بازدارندگی ACE پپتیدهای جدا شده از خمیر آرد گندم استفاده شد. عصاره آبی خمیر پس از بررسی پروفایل وزن مولکولی به روش SDS-PAGE و اطمینان از حضور غلظت مناسب پپتیدهای با وزن مولکولی کم، از غشای 3 کیلو دالتون عبور داده شد و پپتیدهای زیست فعال جدا شده مورد آزمون قرار گرفت. آنالیز واریانس نتایج نشان داد که نوع پروتئین، درصد جایگزینی و زمان تخمیر با بر شدت درجه هیدرولیز و بر میزان فعالیت بازدارندگی ACE، پپتیدهای زیست فعال جدا شده از خمیر، موثر بودند ($P < 0.05$). مقایسه میانگین نشان داد که خمیر حاوی هیدرولیزات پروتئین سویا بیشترین درجه هیدرولیز را داشت و همچنین بیشترین میزان بازدارندگی ACE در نمونه‌های حاوی این مشتق پروتئینی مشاهده شد. ایزوله پروتئین سویا و پروتئین سویا اکستروود شده، درجه هیدرولیز متفاوت ولی درصد بازدارندگی ACE مشابهی داشتند. بر اساس نتایج حاصل شده، جایگزینی آرد گندم با 5 درصد از هیدرولیزات پروتئین سویا تولید گونه‌های پپتید موثر در بازدارندگی ACE در خمیر را تا حد بازدارندگی بیشتر از 83 درصد امکان پذیر می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم مبدل آنژیوتنسن، ایزوله پروتئین سویا، پروتئین سویا اکستروود، نان، هیدرولیزات.

مقدمه

متشکل از دو یا سه اسید آمینه نسبت به اسیدهای آمینه آزاد با سرعت بیشتری در بدن جذب می‌شوند (Webb, 1990). پپتیدهای بزرگ‌تر (10-51 اسید آمینه) موجود در رژیم غذایی نیز می‌توانند به‌صورت دست‌نخورده از طریق روده جذب شده و اثرات بیولوژیکی را باعث شوند، اگرچه کارایی پپتیدها با افزایش طول زنجیره کاهش پیدا می‌کند (Roberts et al., 1999).

فشار خون بالا به‌صورت افزایش در فشار خون سیستولی و دیاستولی به میزان بالاتر از سطوح نرمال تعریف می‌شود. انقباض عروق سیستمیک توسط عروق کرونر می‌تواند سبب افزایش فشار خون گردد. افزایش مداوم فشار خون، خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی، خونریزی مغزی و نارسایی کلیه را افزایش می‌دهد (Ganong, 1995). افزایش فشار خون تحت تأثیر فعالیت آنزیم مبدل آنژیوتنسن (ACE^3) اتفاق

پپتیدهای زیست فعال زیر واحدهای پروتئینی هستند که اثر مثبتی روی عملکرد بدن داشته و می‌توانند روی سلامتی اثرگذار باشند. پپتیدهای زیست فعال بر اساس توالی اسید آمینه‌ای که دارند ممکن است سیستم‌های بدن انسان مثل قلب و عروق، دستگاه گوارش، سیستم عصبی و ایمنی را تحت تأثیر قرار دهند. اندازه توالی پپتیدهای زیست فعال از دو تا بیست اسید آمینه متغیر است اما بعضی پپتیدها دارای زنجیره بلندی از اسیدهای آمینه می‌باشند (Singh et al., 2014). پپتیدها محصول اثر هیدرولیز پروتئین‌ها با روش‌های آنزیمی یا اسیدی هستند. توالی و غلظت پپتیدهای زیست فعال به منبع پروتئین اولیه، آنزیم و پارامترهای فراوری مانند غلظت آنزیم و سوستر، pH، دما و زمان واکنش می‌باشد (Li-Chan, 2015). پپتیدهای کوتاه زنجیر

* - نویسنده مسئول: (Email: mehrcan@acecr.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.82680

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کاشمر، کاشمر، ایران.
2- استادیار، گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

2018). پپتیدهای زیست فعال سویا اجزای خاص پروتئین‌های اصلی سویا یعنی گلايسين³ و بتا کانگلايسين⁴ می‌باشند و توسط هیدرولیز آنزیمی، فراوری ماده غذایی و یا تخمیر آزاد می‌شوند. این پروتئین، به عنوان منبعی برای پپتیدهای ضد فشار خون شناخته شده است (Alauddin *et al.*, 2015). مشاهده شده است که پپتیدهای به دست آمده از هیدرولیز قلبایی پروتئین سویا به طور معنی‌داری فشار خون سیستمی را در موش‌های مبتلا شده به فشار خون بالا کاهش دادند (Beermann *et al.*, 2009). اخیراً 33 گونه پپتید از شیر سویای تخمیر شده با لاکتوباسیلوس پلانتروم که دارای بازدارندگی ACE می‌باشند شناسایی شده است (Singh and Vij, 2017). با این حال در فرایندهای تخمیری، اثرگذاری آنزیم‌های ترشح شده وابسته به شرایط فرایند و ویژگی‌های پروتئین است. به دلیل وجود ساختمان نوع سوم و چهارم فشرده در پروتئین‌های با ساختار کروی، اعمال فرایند اکستروژن که اعمال هم‌زمان فشار و دمای بالا است، باعث تشکیل ساختاری لایه‌لایه در پروتئین‌های سویا می‌گردد. این عمل باعث دسترسی بهتر آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئاز می‌شود (Chen *et al.*, 2011).

هدف از این پژوهش، بررسی اثر نوع پروتئین شامل ایزوله پروتئین سویا، پروتئین سویا اکستروژ شده و هیدرولیزات پروتئین سویا، درصد جایگزینی آرد گندم در دو سطح 5 و 10 درصد و زمان تخمیر خمیر در سه سطح 30، 60 و 90 دقیقه بر ویژگی‌های پپتیدهای با وزن مولکولی کمتر از 3 کیلو دالتون جدا شده از خمیر، از نظر بازدارندگی ACE می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آرد گندم ستاره (رطوبت 12/5 درصد، پروتئین 11/7، جذب آب 59/8 درصد برای 500 واحد برابندر با تست فایرینوگرافی) از کارخانه آرد رضا و مخمر نانویی *Saccharomyces cerevisiae* (خمیرمایه رضوی، مشهد) و نمک، از فروشگاه‌های محلی تهیه شد. ایزوله پروتئینی سویا (رطوبت 6/03 درصد، 63/6 درصد پروتئین) از شرکت Shandong Sinoglory Health Food CO., LTD (چین) و هیدرولیزات پروتئین سویا (رطوبت 6/17 درصد، 81/7 درصد پروتئین) از شرکت A. Costantino & C. spa (ایتالیا) خریداری شد. ACE با منشا ریه خرگوش (A6778) و پپتید FAPGG (F7131) از شرکت Sigma-Aldrich (استرالیا) خریداری شد. سایر مواد شیمیایی مورد نیاز نیز از شرکت‌های Merck یا Sigma-Aldrich تهیه شد.

می‌افتد. این آنزیم در سیستم رنین-آنژیوتنسنین که کنترل فشار خون را بر عهده دارد، آنژیوتنسنین یک را به آنژیوتنسنین دو هیدرولیز می‌نماید. این سیستم با اثر بر دیواره رگ‌ها و کاهش انعطاف‌پذیری آن باعث افزایش فشار خون می‌گردد. بازدارندگی این آنزیم، باعث کاهش شدت اثر آن و کاهش فشار خون می‌گردد (Fitzgerald and Murray, 2006). داروهای سنتزی مانند آلاسپرل¹ و کپتوپریل² برای بازدارندگی این آنزیم و کاهش فشار خون مورد استفاده قرار گرفته است ولی این داروها اثرات جانبی مانند سرفه خشک و مشکلات پوستی به همراه دارد (Mojallal-Tabatabaei *et al.*, 2014). بر این اساس، محققان به دنبال یافتن بازدارنده‌های ACE طبیعی هستند و پپتیدهای زیست فعال تولیدشده از منابع گیاهی و لبنی از جمله راهکارهای موثر شناخته شده است (Chen *et al.*, 2007; Fitzgerald *et al.*, 2004).

نان منبع اصلی تامین انرژی کربوهیدراتی عمده مردم دنیا است و مصرف بالایی دارد. به لحاظ تئوری، افزایش غلظت پپتیدهای زیست فعال با قابلیت بازدارندگی ACE در نان، می‌تواند در تهیه نان با ویژگی کاهش دهنده فشار خود موثر باشد. بر این اساس، مصرف این نوع نان در بیماران دارای فشار خون مزمن و یا افراد در معرض این بیماری، می‌تواند به کنترل و درمان این بیماری کمک کند. مطالعات متنوعی در این حوزه بر پایه پروتئین‌های مختلف انجام شده است. Fitzgerald و همکاران (2014) تاثیر افزودن هیدرولیزات پروتئین *P. palmate* در سطح 4 درصد جایگزین آرد گندم را بر بازدارندگی ACE نان تهیه شده را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که این شاخص تا 1/5 برابر افزایش یافت. Miranda و همکاران (2017) نیز مشاهده کردند که افزودن سه درصد هیدرولیزات پروتئین لوبیا به آرد گندم، قابلیت بازدارندگی ACE را هفت برابر افزایش داد. نتایج گزارش شده در ارتباط با افزودن سطوح 1 و 3 درصد هیدرولیزات دانه چیا به نان نیز نشان داده است که میزان بازدارندگی ACE اگرچه افزایش یافت ولی پارامتر افزایش زمان هیدرولیز پروتئین ممکن است به کاهش فعالیت گونه‌های پپتیدی منجر شود (Segura-Campos *et al.*, 2013). بر این اساس تعیین زمان هیدرولیز مناسب پروتئین باید مورد مطالعه قرار گیرد. طی فرایند تولید نان، طی تخمیر، آنزیم‌های با منشاء مخمر و به طور شدیدتر، آنزیم‌های پروتئاز موجود در آرد باعث هیدرولیز پروتئین‌ها می‌گردد (Zotta *et al.*, 2006). افزایش زمان تخمیر، باعث تشدید فعالیت پروتئولیتیک و افزایش درجه هیدرولیز زنجیره‌های پروتئین می‌گردد (Thiele *et al.*, 2004).

سویا منبع غنی از پروتئین‌ها است که محتوی همه اسیدهای آمینه ضروری موجود در پروتئین‌های حیوانی می‌باشد (Chatterjee *et al.*, 2004).

3 Glycinin

4 β -Conglycinin

1 alacepril

2 Captopril

ژل SDS-PAGE بر اساس روش Laemmli (1970) استفاده شد. برای انجام الکتروفورز از دستگاه الکتروفورز شرکت (BioRad Mini-) استفاده شد. شرایط انجام آزمون، شامل غلظت ژل جدا کننده: 12 درصد، غلظت ژل متراکم کننده: 4 درصد، غلظت پروتئین نمونه: 0/7 میلی گرم در میلی لیتر، عامل احیا کننده 2-مرکاپتواتانول با نسبت ترکیب یک بخش پروتئین و 4 بخش بافر، پروتئین لدر 10 تا 260 کیلو دالتون و اعمال ولتاژ 120 ولت در مدت زمان 75 دقیقه بود.

جداسازی فراکسیون پپتیدی

فراکسیون پپتیدی وزن مولکولی پایین، با استفاده از جدا کننده سانتریفوژی دارای غشای فیلتر وزن مولکولی 3 کیلو دالتون (VS2091, Sartorius, Germany) از نمونه اولیه عصاره جداسازی شد (Eisele et al., 2013).

اندازه گیری غلظت پپتید

اندازه گیری غلظت پپتیدها در محلول های استخراج شده بر اساس روش Dementiev (2012) انجام شد. برای این منظور، جذب نمونه در دو طول موج 215 و 225 نانومتر اندازه گیری شد و اختلاف جذب محاسبه گردید. برای رسم منحنی استاندارد از غلظت های مختلف گلوکوتائین در محدوده 0 تا 1000 میکروگرم در میلی لیتر آب دیونیزه استفاده شد.

تعیین درجه هیدرولیز

درجه هیدرولیز محلول های استخراج شده به روش ارائه شده توسط Nielsen و همکاران (2001) بر پایه واکنش OPA (o-phthaldialdehyde) و اسیدهای آمینه رشته پپتید تعیین گردید. 50 میکرولیتر از نمونه محلول پپتیدی به 1 میلی لیتر از معرف OPA اضافه گردید و پس از مدت زمان 2 دقیقه بلافاصله جذب محلول در طول موج 340 نانومتر اندازه گیری شد. همچنین از اسید آمینه سرین به عنوان استاندارد استفاده شد. برای محاسبه درجه هیدرولیز از رابطه 1 استفاده شد:

$$DH = \frac{h}{h_{total}} \quad (1)$$

که در این رابطه، h از رابطه 2 محاسبه می گردد. h_{total} با توجه به جدول ارائه شده توسط Nielsen و همکاران (2001) تعیین گردید.

$$h = \frac{(Serine-NH_2-\beta)}{\alpha} \quad (2)$$

اکستروژن ایزوله پروتئین سویا

برای رسیدن به شرایط حداکثر دنا توره سازی، ابتدا نمونه پس از افزودن مقدار آب لازم بر اساس رطوبت اولیه و همگن سازی، مدت 24 ساعت برای رسیدن به رطوبت 20 درصد مشروط سازی شد. نمونه مشروط سازی شده با استفاده از اکسترودر دو ماریپیچ (DS32-II, Jinan Saixin Food Machinery, Shandong, P. R. China) واقع در پایلوت فراوری اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی اکسترودر شد. دمای فرایند در سه ناحیه اول، دوم و سوم به ترتیب، 50، 120 و 150 درجه سانتی گراد تنظیم گردید و سرعت چرخش ماریپیچ روی حداکثر تنظیم گردید. پس از یکنواخت شدن شرایط نمونه خارج شده از قالب، نمونه برداری انجام شد (Mozafarpour et al., 2019).

تهیه خمیر

برای تهیه نمونه شاهد، مقدار 50 گرم از آرد گندم با 30 گرم آب، 0/5 گرم مخمر و 0/5 گرم نمک به صورت دستی تا پخش شدن کامل پودر در آرد و یکنواخت شدن، مخلوط گردید و عملیات ورز دادن خمیر تا رسیدن به بافت یکنواخت خمیر انجام گردید. پس از تهیه خمیر، نمونه به مدت زمان های 30، 60 و 90 دقیقه در انکوباتور 35 درجه سانتی گراد (FOC 2251, VLP SCIENTIFICA, Italy) قرار داده شد. پس از اتمام زمان گرمخانه گذاری نمونه برای استخراج ترکیبات پپتیدی مورد استفاده قرار گرفت (FitzGerald et al., 2014).

استخراج عصاره آبی خمیر

نمونه خمیر با مقدار آب 1/5 برابر وزن آن مخلوط گردید و با دستگاه همگن ساز¹ (Stomacher, Seward, England) یکنواخت گردید. سوسپانسیون تهیه شده به مدت 10 دقیقه با شتاب $6000 \times g$ سانتریفوژ شد و مایع رویی جدا گردید. مایع جداسازی شده برای تبخیر الکل و دنا توره شدن پروتئین های حساس به حرارت، به مدت 10 دقیقه در دمای 85 درجه سانتی گراد و همراه با هم زدن مورد تیمار قرار گرفت. نمونه حاصل شده، در شتاب 6000 g به مدت 10 دقیقه سانتریفوژ (2-16P, SIGMA, Germany) شد و مایع رویی از فیلتر واتمن شماره 40 عبور داده شد.

الگوی ژل الکتروفورز به روش SDS-PAGE

برای انجام جداسازی به روش الکتروفورز، ابتدا غلظت پروتئین عصاره به روش Bradford (1976) تعیین گردید. برای جداسازی فراکسیون های پروتئین بر اساس وزن مولکولی از روش قرار دادن در

محاسباتی آزمون Fisher's least square difference مورد مقایسه قرار گرفتند. رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

الگوی ژل الکتروفورز

به‌منظور مقایسه شدت تولید پپتیدهای با وزن مولکولی پایین، آزمون SDS-PAGE انجام شد. تصاویر مربوط به ژل‌های به‌دست‌آمده برای عصاره‌های تهیه شده از خمیر گندم که با پروتئین‌های ایزوله سویا، ایزوله سویا اکستروود شده و هیدرولیزات پروتئین سویا جایگزین شده است، در شکل‌های 1 تا 3 ارائه گردیده است. با توجه به اینکه عصاره اولیه حرارت داده شد، به‌لحاظ تئوری پروتئین‌های سنگین و دارای ساختار در سویا و گندم دناتوره می‌شود. این اتفاق باعث کاهش حلالیت این پروتئین‌ها می‌شود یا توده‌های تجمع مولکولی سنگین و با حلالیت کم تشکیل می‌دهد. از آنجا که سانتریفوژ کردن روی نمونه‌ها در شتاب بالا اعمال گردیده است، بر این اساس، بخش عمده فراکسیون‌های پروتئینی با وزن مولکولی بالا رسوب کرده است (Mozafarpour *et al.*, 2019). در نتیجه، عصاره خمیر قبل از جداسازی فراکسیون 3 کیلو دالتون، حاوی پپتیدهای با وزن مولکولی‌های مختلف و عمدتاً وزن کم است. پروتئین‌های این ناحیه بیشتر شامل پروتئین‌های نوع آلبومین هستند (Boye *et al.*, 2010). با مقایسه نمونه‌های خمیر حاوی پروتئین سویا با شاهد، مشاهده می‌شود که تجمع کمتری از پروتئین‌های با وزن مولکولی کمتر در نمونه‌های شاهد مشاهده می‌شود. نمونه شاهد که تنها شامل آرد گندم هست، عمدتاً شامل پروتئین‌های گلوتن هست که احتمالاً مقدار کمتری از این پروتئین‌ها تحت تاثیر پروتئازها تجزیه شده است و در نتیجه فراکسیون‌های با وزن مولکولی پایین را ایجاد می‌کنند (Thiele *et al.*, 2004). با این حال، با توجه به اینکه فراکسیون‌های سنگین و نامحلول گلوتن طی سانتریفوژ کردن، رسوب می‌کند، در نتیجه بخش کمتری از پروتئین‌ها و پپتیدهای با وزن مولکولی پایین به عصاره منتقل گردیده است. مقایسه بین سایر نمونه‌ها که حاوی مشتقات پروتئین‌های سویا هستند، نشان می‌دهد که نوارهای پروتئینی در وزن مولکولی مشابه در کلیه نمونه‌های حاوی پروتئین سویا مشاهده می‌گردد. با این حال تجمع پروتئینی در همه نمونه‌ها در وزن مولکولی 10 کیلودالتون و کمتر از آن مشاهده می‌گردد که نشان می‌دهد، درصد بالایی از عصاره، پپتیدهای با وزن مولکولی پایین هستند. همچنین هیدرولیز آنزیمی پروتئین‌های سویا عامل دیگر افزایش تجمع توده‌های پروتئینی در محدوده وزن مولکولی پایین محسوب می‌گردد. Peña-Ramos و Xiong (2002) مشاهده کردند که تحت تاثیر فعالیت آنزیمی، باند مربوط به پروتئین گلايسين با افزایش زمان هضم، از بین رفته و باندهای با وزن مولکولی پایین‌تر افزایش یافت.

که در این رابطه، Serine-NH₂ معادل میلی اکی والان اسیدآمین سرین نمونه مورد آنالیز است و از رابطه 3 محاسبه می‌گردد.

$$\text{Serine} - \text{NH}_2 = \frac{(A_{\text{sample}} - A_{\text{opa}})}{(A_{\text{Serine}} - A_{\text{opa}})} * \frac{C_{\text{Serine}}}{C_{\text{sample}}} \quad (3)$$

که در این رابطه، A مقدار جذب، C_{serine} معادل غلظت محلول استاندارد اسیدآمین سرین (میلی مولار) و C_{sample} معادل غلظت نمونه عصاره پپتیدی (گرم در لیتر) است.

اندازه‌گیری فعالیت بازدارندگی ACE

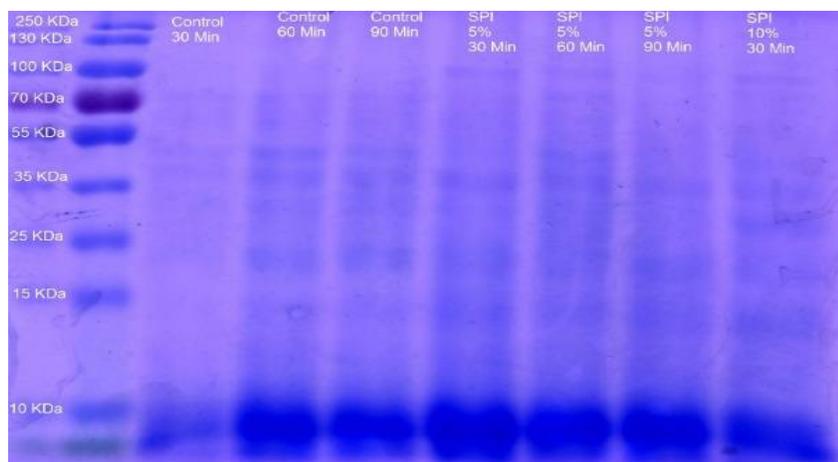
برای اندازه‌گیری فعالیت بازدارندگی ACE نمونه‌های عصاره پپتیدی از روش ارزیابی میزان کاهش فعالیت ACE در شکستن پپتید FAPGG به دو پپتید FAP و GG بر اساس روش ارائه‌شده توسط Tabatabaei و همکاران (2014) استفاده شد. واکنش در بافر تریس (50 میلی مولار، pH معادل 8/3، حاوی 300 میلی مولار کلرید سدیم و 10 میکرومولار کلرید روی) انجام شد. آنزیم و سوبسترا در بافر آزمایش برای رسیدن به غلظت موردنظر رقیق‌سازی شد. محیط واکنش شامل 30 میکرولیتر محلول ACE (0/1 واحد)، 65 میکرولیتر از محلول FAPGG (0/5 میلی مولار)، 50 میکرولیتر از محلول پپتیدی (500 و 200 میکروگرم در میلی‌لیتر) و 160 میکرولیتر بافر بود. برای نمونه شاهد، از بافر به‌جای نمونه پپتیدی استفاده شد. میزان جذب محلول واکنش پس از یک دقیقه و پس از 45 دقیقه نگهداری ظرف واکنش در دمای 37 درجه سانتی‌گراد، در طول موج 340 نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان بازدارندگی نمونه پپتیدی با استفاده از رابطه 4 محاسبه شد.

$$\text{ACE Inhibitory activity} = \left(\frac{\Delta A_{\text{control}} - \Delta A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right) * 100 \quad (4)$$

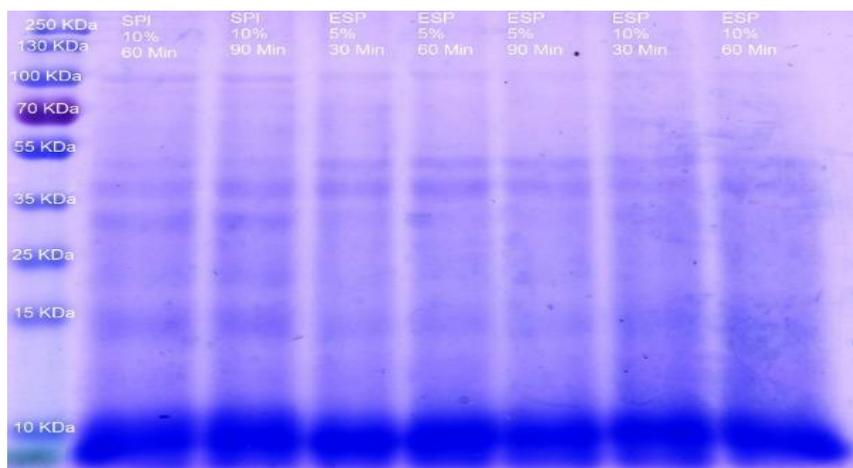
که در این رابطه $\Delta A_{\text{Control}}$ و ΔA_{Sample} اختلاف جذب نمونه شاهد بین دقیقه‌های 1 با 45 به ترتیب برای نمونه‌های شاهد و مورد آزمایش شامل عصاره‌های فیلتر شده از خمیرهای حاصل از تیمارهای مختلف است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

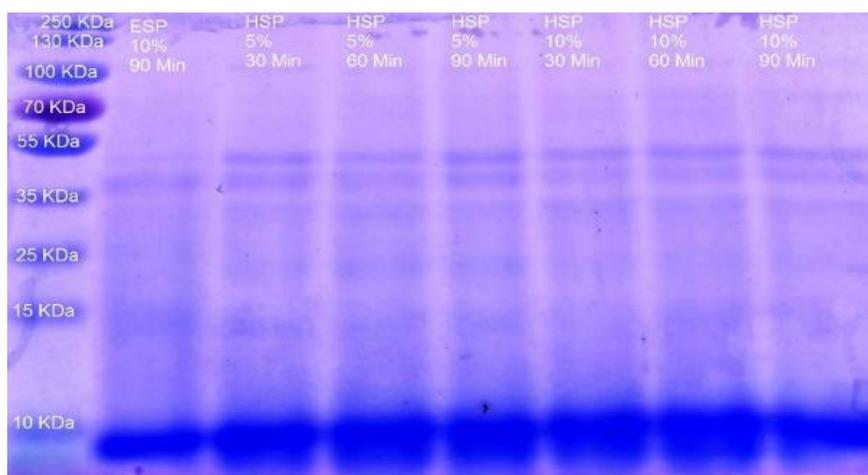
آزمایش‌ها به‌صورت کاملاً تصادفی و در قالب فاکتوریل انجام شد. فاکتورها شامل نوع پروتئین در سه سطح ایزوله پروتئین سویا، پروتئین سویا اکستروود شده و هیدرولیزات پروتئین سویا، درصد جایگزینی آرد گندم در دو سطح 5 و 10 درصد و زمان تخمیر در سه سطح 30، 60 و 90 دقیقه می‌باشد. تهیه خمیر حداقل در دو تکرار و آزمایش‌ها حداقل در سه تکرار انجام گردید. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab و به روش آنالیز واریانس مدل خطی صورت گرفت و میانگین‌ها برای عوامل موثر معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد با استفاده از روش



شکل 1- الگوی الکتروفورز SDS-PAGE نمونه‌های عصاره آبی خمیر (Control: شاهد، SPI: کنسانتره پروتئین سویا، سطر دوم، درصد جایگزینی و سطر سوم، زمان تخمیر می‌باشد)



شکل 2- الگوی الکتروفورز ژل SDS-PAGE نمونه‌های عصاره آبی خمیر (ESP: پروتئین سویا اکستروود شده)



شکل 3- الگوی الکتروفورز ژل SDS-PAGE نمونه‌های عصاره آبی خمیر (HSP: هیدرولیزات پروتئین سویا)

سه گانه متغیرها نیز اثر معنی‌داری بر درجه هیدرولیز داشت ($P < 0.001$). به‌طور کلی، عصاره‌های تهیه شده از خمیر حاوی هیدرولیزات پروتئین سویا، دارای درجه هیدرولیز بالاتری در مقایسه با نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و پروتئین سویا اکستروژن شده بود (شکل 4). این مسئله با توجه به اینکه هیدرولیزات در مقایسه با دو پروتئین دیگر یک مرحله تجزیه آنزیمی را به همراه داشته است، انتظار می‌رود دارای زنجیره‌های پپتیدی کوتاه‌تری باشد که در مرحله بعد نیز در اثر پروتولیز طی تخمیر بیشتر هیدرولیز شده است. استفاده از آنزیم‌های تجاری در فرایند هیدرولیز پروتئین، تنوع گونه‌های پپتید و تعداد پپتیدهای کوچک را در مقایسه با فرایندهای تخمیری منجر به هیدرولیز پروتئین افزایش می‌دهد (Peñas et al., 2015). بر این اساس، انتظار می‌رود نمونه‌های حاوی هیدرولیزات پروتئین سویا، از درجه هیدرولیز بالاتری برخوردار باشد. پروتئین سویا اکستروژن شده، درجه هیدرولیز بالاتری نسبت به ایزوله پروتئین سویا نشان داد که احتمالاً این پدیده مرتبط با باز شدن زنجیره پروتئین، تغییر خصوصیات سطحی و شکسته شدن و در بیشتر در معرض هیدرولیز آنزیمی قرار گرفتن است (Surówka et al., 2004).



شکل 4- تاثیر نوع پروتئین بر درجه هیدرولیز عصاره پپتیدی خمیر

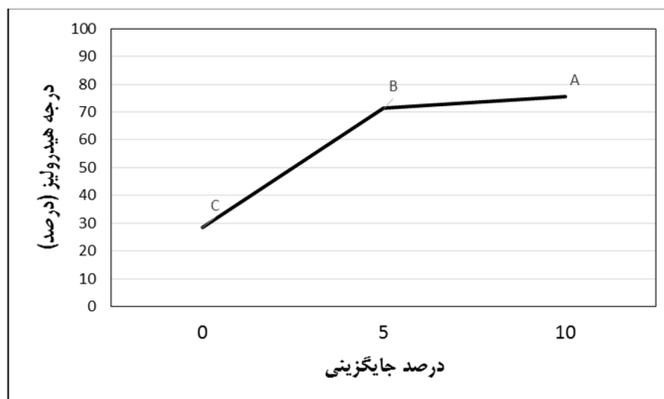
عصاره این نمونه‌ها مشاهده می‌گردد که در نتیجه درجه هیدرولیز عصاره نیز افزایش می‌یابد. یکی از عوامل تهییج‌کننده رشد مخمر و در نتیجه افزایش فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با این پدیده، حضور پروتئین‌هایی است که بر رشد مخمر موثر هستند. Liu و همکاران (2016) تاثیر افزودن هیدرولیزات پروتئین سویا را بر رشد مخمر نان مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که تحت شرایط کشت، رشد مخمر در حضور هیدرولیزات پروتئین سویا تا ده برابر افزایش یافت. بر این اساس، احتمالاً افزایش محتوای پروتئین، در افزایش فعالیت آنزیمی و به دنبال آن، افزایش هیدرولیز موثر باشد.

در این نتایج مشاهده می‌شود که پروفایل وزنی عصاره، قبل از فیلتر، همان‌طور که انتظار می‌رفت، دارای غلظت بالاتری از پپتیدهای با وزن مولکولی کم در مقایسه با پروتئین‌های سنگین وزن است. با مقایسه کلی نمونه‌ها، به نظر می‌رسد، نمونه‌های حاوی پروتئین سویا اکستروژن شده، دارای مقدار بیشتری از پپتیدهای با وزن مولکولی پایین باشد. این پدیده احتمالاً ناشی از اعمال فرایند اکستروژن باشد که باعث گردیده است بخش بیشتری از زنجیره‌های پروتئینی دچار شکستن شده باشد. درصد جایگزینی‌های مختلف و همچنین افزایش زمان تخمیر، تفاوت قابل توجهی در الگوی الکتروفورز نشان نمی‌دهد.

درجه هیدرولیز

درجه هیدرولیز شاخصی از میزان شکسته شدن زنجیره‌های پروتئینی و در واقع شاخصی از طول زنجیره‌های پپتیدی در عصاره فیلتر شده خمیر است. هرچه درجه هیدرولیز بالاتر باشد، انتظار می‌رود که زنجیره‌های پپتیدی کوتاه‌تری در عصاره موجود باشد. آنالیز واریانس اثر مستقل و برهمکنش متغیرهای مورد بررسی نشان داد که نوع پروتئین، درصد جایگزینی آرد گندم و زمان تخمیر، به‌طور معنی‌داری بر تغییرات درجه هیدرولیز موثر بود ($P < 0.001$). همچنین برهمکنش دوگانه و

بررسی نمودار تغییرات درجه هیدرولیز عصاره با افزایش درصد جایگزینی آرد گندم با مشتقات پروتئینی سویا (شکل 5)، نشان می‌دهد که در سطح 5 درصد جایگزینی، در مقایسه با نمونه شاهد، افزایش معنی‌داری در درجه هیدرولیز مشاهده می‌شود. با این حال، افزایش درصد جایگزینی آرد گندم، اگرچه درجه هیدرولیز را افزایش داده است ولی معنی‌دار نبود. با توجه به اینکه مقدار پروتئین‌های محلول در مشتقات سویا بیشتر از گندم است (Zayas, 1997). این مسئله باعث می‌گردد که محتوای پروتئین بیشتری به عصاره فیلتر شده منتقل گردد که عمدتاً پپتیدهای با وزن مولکولی پایین‌تر هستند به همین دلیل در مقایسه با نمونه شاهد، حجم بیشتری از مولکول‌های با وزن مولکولی پایین‌تر در

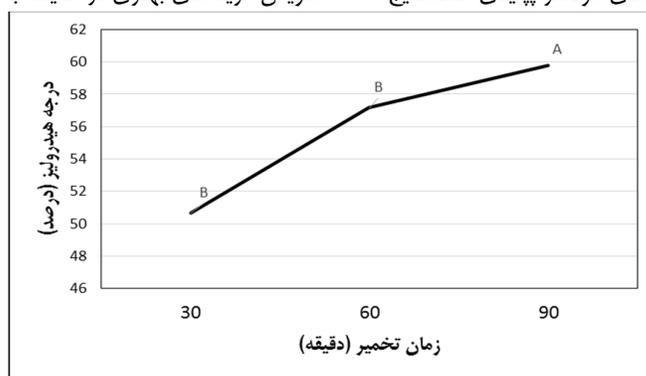


شکل 5- تاثیر درصد جایگزینی آرد گندم با مشتقات پروتئین بر درجه هیدرولیز عصاره پپتیدی خمیر

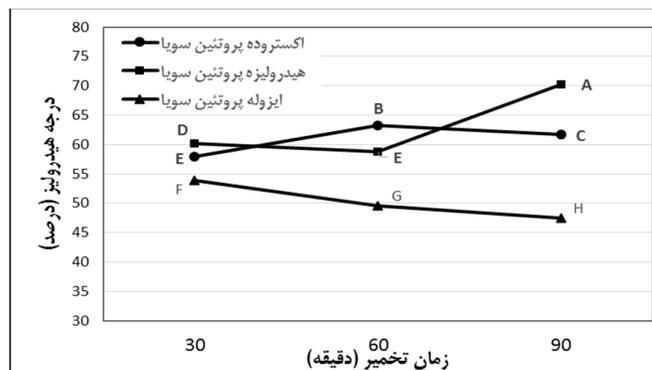
مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است (Bhaskar *et al.*, 2007; Kong and Xiong, 2006).

نوع پروتئین بر تغییرات درجه هیدرولیز طی زمان معنی دار بود. تغییرات این پاسخ در برابر این دو متغیر در شکل 7 ارایه شده است. مشاهده می شود که در دو مشتق پروتئینی اکستروده پروتئین سویا و هیدرولیزات پروتئین سویا، با افزایش زمان تخمیر، افزایش درجه هیدرولیز مشاهده می شود ولی در ارتباط با ایزوله پروتئین سویا، این تغییرات کاهشی است. این مسئله احتمالاً مرتبط نحوه اثر پروتئین‌های موجود در خمیر بر این پروتئین‌ها و همچنین وضعیت اسیدهای آمینه آزاد و طول رشته پپتیدی در این سه مشتق پروتئینی باشد. احتمالاً در ایزوله پروتئین سویا، فعالیت هیدرولیز بر رشته‌های پپتیدی تاثیر کمی داشته یا رشته‌های پپتیدی ایجاد شده، دارای طول زیاد بوده که امکان عبور از فیلتر 3 کیلو دالتون را نداشته است. به طور کلی برای افزایش تنوع ترکیبات پپتیدی با طول کم، اکستروده و هیدرولیزات پروتئین سویا، گزینه‌های بهتری در مقایسه با ایزوله پروتئین سویا هستند.

بررسی نتایج نشان می دهد که افزایش زمان تخمیر به طور معنی داری باعث افزایش درجه هیدرولیز عصاره گردید (شکل 6). افزایش زمان تخمیر به دلیل افزایش مدت زمان فعالیت مخمر و در نتیجه افزایش مدت زمان در دسترس جهت اثرگذاری آنزیم، باعث می شود که زنجیره پپتیدی بیشتری طی تخمیر هیدرولیز شود (Thiele *et al.*, 2004). Jakubczyk و همکاران (2013) از سویه‌ای از *Lactobacillus plantarum* برای تخمیر پروتئین نخود و سپس هضم آنزیمی شرایط معده و روده به منظور تولید پپتیدهای هیدرولیزات بهره بردند. نتایج این محققان نشان داد که تخمیر اولیه، شدت هیدرولیز را افزایش داد. Peñas و همکاران (2015) از سویه‌های *Lactobacillus* برویس¹ ایزوله شده از پنیر اسپانیایی برای تولید خمیرترش، به منظور تولید نان کاهنده فشار خون استفاده کردند. مشاهده شد که تولید پپتیدهای با وزن مولکولی کمتر از 3 کیلو دالتون، در حضور سویه باکتریایی تا 15 برابر افزایش یافت که نشان دهنده اثرگذاری شدت تخمیر بر تجزیه آنزیمی و تولید رشته‌های کوتاه تر پپتیدی است. نتایج



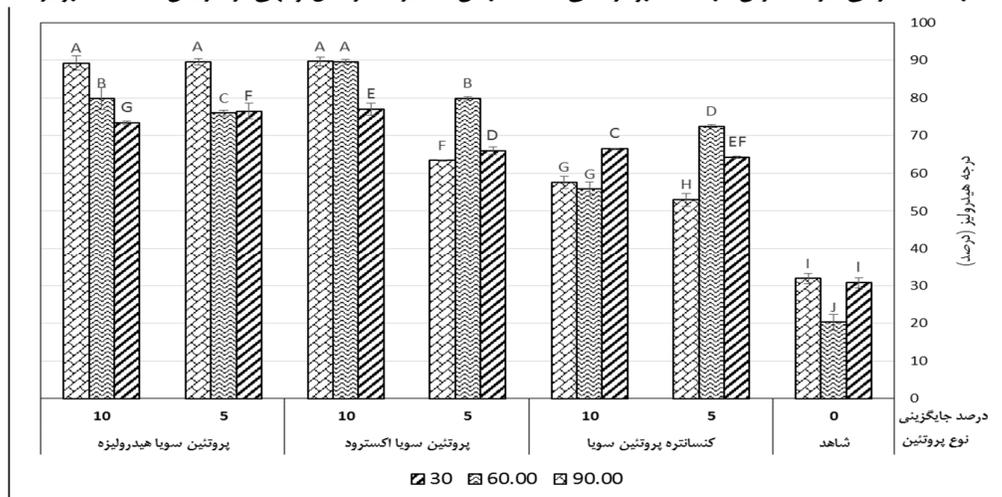
شکل 6- تاثیر زمان تخمیر بر درجه هیدرولیز عصاره پپتیدی خمیر



شکل 7- تاثیر نوع پروتئین و زمان تخمیر بر درجه هیدرولیز عصاره پپتیدی خمیر

در حدود 90 درصد را نشان داد. نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا در مقایسه با پروتئین سویا اکستروده و هیدرولیزات، درجه کمتری از هیدرولیز را نشان داد، اگرچه مقادیر حاصل بیشتر از نمونه شاهد بود. می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که پروتئین سویا طبیعی به دلیل ساختار مستحکم‌تری که در مقایسه با دو مشتق دیگر، در مقابل هیدرولیز مقاوم‌تر بوده است و افزایش درجه جانشینی و حتی افزایش زمان تخمیر، تاثیر قابل توجهی بر افزایش شدت هیدرولیز نداشته است.

کمترین درجه هیدرولیز عصاره‌ها مربوط به نمونه‌های شاهد بود درحالی‌که بالاترین درجه هیدرولیز مربوط به نمونه‌های حاوی هیدرولیزات پروتئین سویا با زمان تخمیر 90 دقیقه است (شکل 8). در نتیجه، به نظر می‌رسد افزایش زمان تخمیر، شدت هیدرولیز پروتئین‌ها را افزایش داده است و منجر به تولید رشته‌های پپتیدی با طول کمتر شده است. همچنین نمونه حاوی پروتئین سویا اکستروده شده، در سطح 10 درصد جایگزینی نیز، بالاترین درجه هیدرولیز یعنی



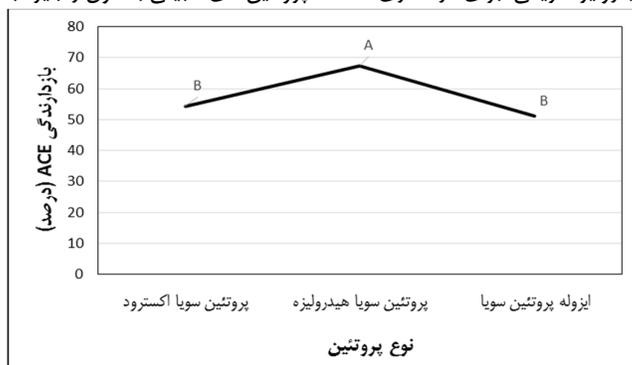
شکل 8- مقایسه اثر نوع پروتئین و میزان جایگزینی آرد گندم بر درجه هیدرولیز عصاره پپتیدی خمیر

بیشترین بازدارندگی و 673 میکروگرم در میلی‌لیتر برای نخود با کمترین فعالیت است. آنالیز واریانس، نشان داد که نوع پروتئین و درصد جایگزینی در هر دو غلظت مورد بررسی بر بازدارندگی ACE تاثیر گذار بودند ($P < 0.001$) ولی در مورد زمان تخمیر، اگرچه در غلظت $500 \mu\text{g/ml}$ با ولی در غلظت کمتر ($250 \mu\text{g/ml}$)، تاثیرگذاری مشاهده نشد. همچنین برهمکنش درصد جایگزینی و زمان تخمیر به‌طور معنی‌داری بر شدت بازدارندگی ACE تاثیر گذار بود (جدول ارایه نشده است). مقایسه میانگین میزان بازدارندگی ACE برای پروتئین‌های مختلف

فعالیت بازدارندگی ACE

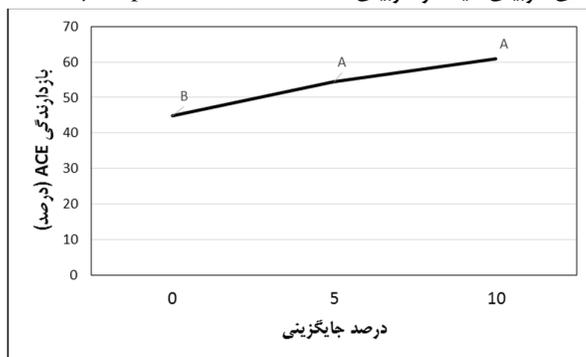
فعالیت بازدارندگی ACE برای نمونه‌های مختلف عصاره خمیر در دو غلظت 250 و $500 \mu\text{g/ml}$ در جدول 1 ارائه شده است. همچنین در این جدول مقدار IC_{50} برای نمونه‌هایی که غلظت IC_{50} در محدوده 250 تا 500 میکروگرم در میلی‌لیتر است، محاسبه و ارایه شده است. داده‌های به‌دست‌آمده، در محدوده نتایج گزارش شده در مطالعه Boschin و همکاران (2014)، برای هیدرولیزات پروتئین حبوبات (با استفاده از آنزیم پپسین)، بین 224 میکروگرم در میلی‌لیتر برای سویا با

گونه‌های متنوع پپتیدی لازم است، به طوری که با افزایش شدت هیدرولیز، میزان بازدارندگی ACE افزایش می‌یابد. بر این اساس، چون تنها هیدرولیز تحت تاثیر آنزیم‌های خمیر روی این پروتئین‌ها، انجام شده است، زنجیره پپتیدی با توالی موثر بر ACE کمتر تولید شده‌اند. با توجه به اینکه ساختار پروتئینی این دو مشتق مشابه هستند، نتایج مشابهی برای ایزوله پروتئین سویا و اکسترود شده پروتئین سویا مشاهده می‌شود. Fitzgerald و همکاران (2014) با افزودن هیدرولیزات (با استفاده از آنزیم پاپائین) جلبک *Palmaria palmate* به آرد گندم در سطح 4 درصد، مشاهده کردند که بازدارندگی مکانیسم رنین از 5 درصد به 15 درصد افزایش یافت. به طور کلی، مشتقات هیدرولیزات، به دلیل تنوع پپتیدی بالاتر، دارای فعالیت زیستی بیشتر در مقایسه با پروتئین‌های طبیعی با طول زنجیره بالا هستند.



شکل 9 - اثر نوع پروتئین بر بازدارندگی ACE عصاره پپتیدی خمیر در غلظت 500µg/ml

چشم‌بلبلی را جانشین آرد گندم کردند و بازدارندگی عصاره تهیه شده از نان آرد مخلوط را مورد بررسی قرار دادند. در سطح 1 درصد جانشینی، در مقایسه با نمونه کنترل افزایش قابل توجهی در میزان بازدارندگی ACE مشاهده شد ولی با افزایش درصد جانشینی به 3 درصد، اگرچه میزان بازدارندگی ACE افزایش یافت ولی این میزان افزایش معنی‌دار نبود. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر در ارتباط با سطوح افزودن هیدرولیزات دانه چیا (1 تا 3 درصد) در نان گزارش شده است (Segura-Campos et al., 2013).

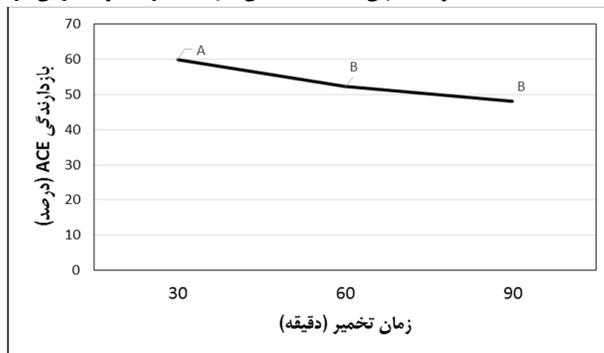


شکل 10 - تاثیر درصد جایگزینی بر بازدارندگی ACE عصاره پپتیدی خمیر در غلظت 500µg/ml

جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون خمیر، در غلظت پپتید 500 µg/ml در شکل 9 ارائه شده است. به طور کلی بیشترین میزان بازدارندگی مربوط به نمونه‌های حاوی هیدرولیزات پروتئین سویا است. با توجه به اینکه بیشترین میزان هیدرولیز مربوط به هیدرولیزات پروتئین سویا است (شکل 4). انتظار می‌رود، هیدرولیز بیشتر، تنوع گونه‌های پپتید را افزایش داده و طول زنجیره‌های پروتئینی را کاهش می‌دهد، در نتیجه باعث گردیده است که خمیر حاوی این مشتق، تنوع پپتید با بازدارندگی بیشتر داشته باشد. از طرف دیگر، تفاوت معنی‌داری بین دو مشتق پروتئینی دیگر، شامل ایزوله پروتئین سویا و پروتئین سویا اکسترود شده مشاهده نشد. Chiang و همکاران (2006) بیان کردند که بازدارندگی ACE در ایزوله پروتئین سویا به دلیل مقدار و تنوع کم پپتیدهای با طول زنجیره کوتاه، ناچیز است و اعمال فرایند هیدرولیز آنزیمی برای آزادسازی

جایگزینی آرد گندم با مشتقات پروتئین سویا باعث افزایش میزان بازدارندگی ACE عصاره گردید (شکل 10) ولی با افزایش بیشتر سطح جایگزینی تا 10 درصد، اگرچه افزایش بازدارندگی مشاهده شد ولی این میزان افزایش معنی‌دار نبود. این مسئله احتمالاً به این دلیل هست که طی تخمیر، با حضور پروتئین‌هایی متفاوت با پروتئین‌های گندم، گونه‌های پپتیدی جدیدی ایجاد شده است که بازدارندگی بالاتری در مقایسه با پپتیدهای تولید شده از پروتئین گندم دارد. Miranda و همکاران (2017) هیدرولیزات پروتئین‌های لوبیای لیما و لوبیای

(2009) نیز افزایش بازدارندگی ACE و سپس کاهش آن با افزایش زمان تخمیر شیر را طی استفاده از سویه‌های مختلف اسید لاکتیک باکتری گزارش کردند. باین‌حال، نتایج Zhang و همکاران (2006) در تضاد با نتایج سایر محققین بیان کردند که افزایش زمان تخمیر محصول داجی بر پایه سویا، افزایش فعالیت پپتیدهای بازدارنده ACE را به همراه داشت. باید این مسئله در نظر گرفته شود که تفاوت در شرایط تخمیر، به‌ویژه مدت زمان تخمیر و همچنین روش‌های خالص‌سازی یا فراکسیونه کردن بر نتایج تاثیر گذار هستند.



شکل 11- تاثیر زمان تخمیر بر بازدارندگی ACE عصاره پپتیدی خمیر در غلظت 500µg/ml

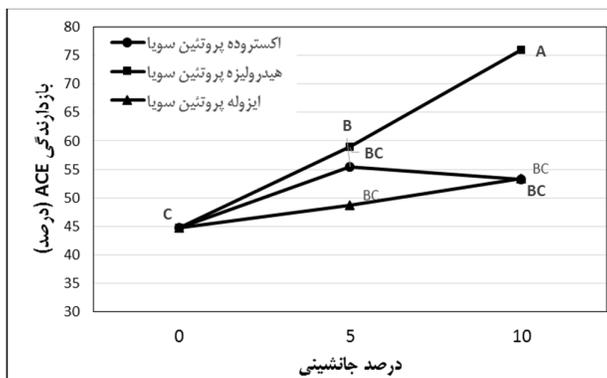
حاوی هیدرولیزات پروتئین سویا، در سطح جانشینی 5 درصد و زمان تخمیر 90 دقیقه، کمترین میزان IC_{50} را داشت که این مسئله با بحث مطرح شده در مورد اثر زمان تخمیر مورد انتظار هست.

به‌طورکلی با مقایسه مقادیر مختلف می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بیشترین بازدارندگی مربوط به نمونه‌های حاوی هیدرولیزات پروتئین سویا است. باین‌حال، این مسئله باید در نظر گرفته شود که با اثرگذاری آنزیم‌های گوارشی بر رشته‌های پپتیدی در بدن و تولید پپتیدهای جدید با طول رشته کمتر، انتظار می‌رود، گونه‌های جدیدی از پپتید ایجاد گردد که دارای فعالیت شدیدتری در بازدارندگی ACE داشته باشند. در این رابطه، Zhang و همکاران (2006) مشاهده کردند که هیدرولیز آنزیمی عصاره تهیه شده از محصول سویای تخمیری با آنزیم‌های گوارشی، باعث کاهش IC_{50} از 5 میلی‌گرم در میلی‌لیتر به 160 میکروگرم در میلی‌لیتر گردید. همچنین، عموماً، پپتیدهای موجود در مواد غذایی، دارای بازدارندگی متفاوتی هستند و میزان بازدارندگی عصاره، برآیندی از گونه‌های پپتیدی است. در مطالعه Shin و همکاران (2001)، مقدار IC_{50} برای عصاره استخراج‌شده از محصول تخمیری بر پایه سویا، 276 میکروگرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد ولی با خالص‌سازی عصاره به روش HPLC، رشته پپتیدی جداسازی شد که دارای IC_{50} معادل 2/2 میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. بر این اساس، این احتمال وجود دارد که در هر یک از نمونه‌های مورد بررسی در این تحقیق، گونه‌های پپتیدی با فعالیت شدید بازدارندگی ACE موجود باشد که نیاز به بررسی دقیق‌تر دارد.

افزایش زمان تخمیر از 30 به 60 دقیقه، بازدارندگی ACE را کاهش داد ولی افزایش زمان تخمیر به 90 دقیقه اثر معنی‌داری نداشت (شکل 11). به‌نظر می‌رسد، افزایش زمان تخمیر که با توسعه فعالیت آنزیم همراه هست، با تجزیه پپتیدهای تولیدشده موجود، منجر به تولید گونه‌های پپتیدی شده است که فعالیت بازدارندگی کمتری در مقایسه با پپتیدهای اولیه شده است. Rho و همکاران (2009) مشاهده کردند که افزایش زمان تخمیر، بیشتر از حد بهینه، تاثیری بر میزان بازدارندگی ACE مخلوط آرد گندم و سویا نداشت. Nielsen و همکاران

تغییرات بازدارندگی ACE برای پروتئین‌های مختلف با افزایش درجه جانشینی آرد گندم در شکل 12 ارائه شده است. همان‌طور که بیان شد، جانشینی آرد گندم با مشتقات پروتئینی سویا، افزایش فعالیت بازدارندگی ACE را به همراه داشت ولی میزان این افزایش در مورد ایزوله و اکستروده پروتئین سویا معنی‌دار نبود. باین‌حال، در مورد هیدرولیزات پروتئین سویا، افزایش درصد جانشینی، افزایش بازدارندگی را به همراه دارد. این مسئله احتمالاً ناشی از افزایش هیدرولیز طی تخمیر و افزایش تنوع پپتیدها است.

مقایسه تیمارهای مختلف در جدول 1 ارائه شده است. بر اساس این نتایج، بیشترین مقادیر بازدارندگی ACE مربوط به هیدرولیزات پروتئین سویا در سطح جایگزینی 10 درصد است. باین‌حال نمونه شاهد با 30 دقیقه تخمیر نیز میزان بازدارندگی بالایی را نشان داد. به‌طورکلی، با توجه به اینکه تنوع گونه‌های پپتیدی طی پروتئولیز با زمان تغییر می‌کند، الگوی مشخصی برای جهت‌دهی فرایند به سمت تولید پپتیدهای خاص وجود ندارد. شاخص IC_{50} مقایسه مناسب‌تری بین تیمارهای مختلف مورد بررسی ارائه می‌دهد (جدول 1). جایگزینی آرد گندم با هیدرولیزات پروتئین سویا در سطح 10 درصد جایگزینی، منجر به تولید پپتیدهایی گردید که به دلیل بالاتر بودن درصد بازدارندگی از عدد 50 در غلظت 250 میکروگرم در میلی‌لیتر، امکان محاسبه IC_{50} وجود نداشت. این مسئله نشان می‌دهد که در بین نمونه‌های مورد بررسی، بیشترین بازدارندگی مربوط به نمونه حاوی هیدرولیزات پروتئین سویا است. در بین نمونه‌هایی که مقادیر IC_{50} قابل محاسبه بود، نمونه



شکل 12- تاثیر نوع پروتئین و درصد جانشینی بر بازدارندگی ACE عصاره پپتیدی خمیر در غلظت 500µg/ml

جدول 1- درصد بازدارندگی ACE در غلظت‌های مختلف و مقدار غلظت IC50 برای عصاره‌های مختلف

نوع پروتئین	درصد جایگزینی	زمان تخمیر (دقیقه)			IC50 µg/ml	500 µg/ml	250 µg/ml
		30	60	90			
شاهد		347/8	33/6 ± 11/3	33/3 ± 6/9	nc	nc-L	nc-L
ایزوله	5	29/2 ± 4/6	50/3 ± 17/2	66/9 ± 11/5	nc-L	nc-L	nc-L
پروتئین سویا	10	63/6 ± 2/4	37/5 ± 10/6	51/7 ± 2/6	nc-L	nc-L	nc-L
پروتئین سویا	5	62/6 ± 12/8	63/6 ± 1/5	39/1 ± 11/5	nc-L	nc-L	nc-L
اکستروده	10	48/6 ± 11/3	57/9 ± 6/1	53/1 ± 11/5	nc-L	nc-L	nc-L
هیدرولیزات	5	49/5 ± 11/2	60/6 ± 5/3	58/6 ± 18/3	nc-L	nc-L	nc-L
پروتئین سویا	10	80/6 ± 3/8	68/4 ± 10/2	63/5 ± 4/1	nc-H	nc-H	nc-H

nc-L: به دلیل پایین‌تر بودن مقادیر بازدارندگی ACE از 50 درصد در هر دو غلظت، محاسبه نشده است؛ nc-H: به دلیل بالاتر بودن مقادیر بازدارندگی ACE از 50 درصد در هر دو غلظت، محاسبه نشده است.

نتیجه‌گیری

درجه هیدرولیز را افزایش می‌دهد، ولی به‌طور کلی کاهش بازدارندگی ACE را به همراه دارد. با نگاه به شرایط تکنولوژیکی و همچنین شدت اثر گذاری غلظت در تولید پپتیدهای زیست فعال بازدارنده ACE، فرمولاسیون جایگزینی پنج درصد آرد گندم با هیدرولیزات پروتئین سویا و مدت زمان تخمیر 30 دقیقه بر اساس نتایج این تحقیق برای تولید نان حاوی ترکیبات زیست فعال بازدارنده ACE پیشنهاد می‌شود. این نتیجه بایستی به لحاظ تکنیکی تولید و کیفیت نان مورد بررسی قرار گرفته و سپس در مرحله دوم، با آزمون‌های بالینی میزان اثر گذاری آن در کاهش فشار خون مورد ارزیابی قرار گیرد.

افزودن مشتقات پروتئینی سویا به‌ویژه هیدرولیزات پروتئین سویا، باعث افزایش محتوای پپتیدی خمیر آرد گندم می‌شود و تنوع گونه‌های پپتیدی تشکیل شده طی تخمیر را افزایش می‌دهد. این مسئله افزایش درجه هیدرولیز و همچنین افزایش بازدارندگی ACE در خمیر را افزایش داد که می‌تواند به‌منظور فرمولاسیون نان کاهنده فشار خون مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، افزایش سطح جایگزینی آرد گندم تاثیر معنی‌داری بر افزایش بازدارندگی ACE نداشت و در سطوح پایین هم افزایش بازدارندگی قابل مشاهده است. افزایش زمان تخمیر، اگرچه

منابع

Alauddin, M., Shirakawa, H., Hiwatashi, K., Shimakage, A., Takahashi, S., Shinbo, M., Komai, M., 2015. Processed soymilk effectively ameliorates blood pressure elevation in spontaneously hypertensive rats. *J. Funct. Foods* 14, 126–132.

Beermann, C., Euler, M., Herzberg, J., Stahl, B., 2009. Anti-oxidative capacity of enzymatically released peptides from

- soybean protein isolate. *Eur. food Res. Technol.* 229, 637–644.
- Bhaskar, N., Sakhare, P.Z., Suresh, P. V, Gowda, L.R., Mahendrakar, N.S., 2007. Biostabilization and preparation of protein hydrolysates from delimed leather fleshings.
- Boschin, G., Scigliuolo, G.M., Resta, D., Arnoldi, A., 2014. ACE-inhibitory activity of enzymatic protein hydrolysates from lupin and other legumes. *Food Chem.* 145, 34–40.
- Boye, J.I., Roufik, S., Pesta, N., Barbana, C., 2010. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory properties and SDS-PAGE of red lentil protein hydrolysates. *LWT - Food Sci. Technol.* 43, 987–991.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248–254.
- Chatterjee, C., Gleddie, S., Xiao, C.-W., 2018. Soybean Bioactive Peptides and Their Functional Properties. *Nutrients* 10, 1211. <https://doi.org/10.3390/nu10091211>
- Chen, G.-W., Tsai, J.-S., Sun Pan, B., 2007. Purification of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides and antihypertensive effect of milk produced by protease-facilitated lactic fermentation. *Int. Dairy J.* 17, 641–647.
- Chen, L., Chen, J., Ren, J., Zhao, M., 2011. Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties. *Food Hydrocoll.* 25, 887–897.
- Chiang, W.-D., Tsou, M.-J., Tsai, Z.-Y., Tsai, T.-C., 2006. Angiotensin I-converting enzyme inhibitor derived from soy protein hydrolysate and produced by using membrane reactor. *Food Chem.* 98, 725–732.
- Dementiev, A., 2012. K-Ras4B lipoprotein synthesis: Biochemical characterization, functional properties, and dimer formation. *Protein Expr. Purif.* 84, 86–93.
- Eisele, T., Stressler, T., Kranz, B., & Fischer, L., 2013. Bioactive peptides generated in an enzyme membrane reactor using *Bacillus lentus* alkaline peptidase. *European Food Research and Technology*, 236, 483–490.
- Fitzgerald, C., Gallagher, E., Doran, L., Auty, M., Prieto, J., Hayes, M., 2014. Increasing the health benefits of bread: Assessment of the physical and sensory qualities of bread formulated using a renin inhibitory *Palmaria palmata* protein hydrolysate. *LWT - Food Sci. Technol.* 56, 398–405.
- Fitzgerald, R.J., Murray, B.A., 2006. Bioactive peptides and lactic fermentations. *Int. J. Dairy Technol.* 59, 118–125.
- Fitzgerald, R.J., Murray, B.A., Walsh, D.J., 2004. Hypotensive peptides from milk proteins. *J. Nutr.* 134, 980S–988S.
- Franco-Miranda, H., Chel-Guerrero, L., Gallegos-Tintoré, S., Castellanos-Ruelas, A., Betancur-Ancona, D., 2017. Physicochemical, rheological, bioactive and consumer acceptance analyses of concha-type Mexican sweet bread containing Lima bean or cowpea hydrolysates. *LWT* 80, 250–256.
- Ganong, W.F., 1995. Reproduction and the renin-angiotensin system. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 19, 241–250.
- Jakubczyk, A., Karaś, M., Baraniak, B., Pietrzak, M., 2013. The impact of fermentation and in vitro digestion on formation angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from pea proteins. *Food Chem.* 141, 3774–3780.
- Kong, B., Xiong, Y.L., 2006. Antioxidant Activity of Zein Hydrolysates in a Liposome System and the Possible Mode of Action. *J. Agric. Food Chem.* 54, 6059–6068.
- LAEMMLI, U.K., 1970. Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature* 227, 680–685.
- Li-Chan, E.C.Y., 2015. Bioactive peptides and protein hydrolysates: research trends and challenges for application as nutraceuticals and functional food ingredients. *Curr. Opin. Food Sci.* 1, 28–37.
- Liu, X., Li, T., Liu, B., Zhao, H., Zhou, F., Zhang, B., 2016. An External Addition of Soy Protein Isolate Hydrolysate to Sourdough as a New Strategy to Improve the Quality of Chinese Steamed Bread. *J. Food Qual.* 39, 3–12.
- Mojallal-Tabatabaei, Z., Asoodeh, A., Asadi, F., Nezafati, H.R., 2014. ACE-Inhibitory and Antioxidant Activity of Temporin-Ra Peptide: Biochemical Characterization and Molecular Modeling Study. *Int. J. Pept. Res. Ther.* 20, 493–500.
- Mozafarpour, R., Koocheki, A., Milani, E., Varidi, M., 2019. Extruded soy protein as a novel emulsifier: Structure, interfacial activity and emulsifying property. *Food Hydrocoll.* 93, 361–373.
- Nielsen, M.S., Martinussen, T., Flambard, B., Sørensen, K.L., Otte, J., 2009. Peptide profiles and angiotensin-I-converting enzyme inhibitory activity of fermented milk products: Effect of bacterial strain, fermentation pH, and storage time. *Int. Dairy J.* 19, 155–165.
- Nielsen, P.M., Petersen, D., Dambmann, C., 2001. Improved Method for Determining Food Protein Degree of Hydrolysis. *J. Food Sci.* 66, 642–646.
- Peñas, E., Diana, M., Frias, J., Quílez, J., Martínez-Villaluenga, C., 2015. A Multistrategic Approach in the Development of Sourdough Bread Targeted Towards Blood Pressure Reduction. *Plant Foods Hum. Nutr.* 70, 97–103.
- Peña-Ramos, E.A., Xiong, Y.L., 2002. Antioxidant Activity of Soy Protein Hydrolysates in a Liposomal System. *J. Food Sci.* 67, 2952–2956.
- Rho, S.J., Lee, J.-S., Chung, Y. II, Kim, Y.-W., Lee, H.G., 2009. Purification and identification of an angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide from fermented soybean extract. *Process Biochem.* 44, 490–493.
- Roberts, P.R., Burney, J.D., Black, K.W., Zaloga, G.P., 1999. Effect of chain length on absorption of biologically active peptides from the gastrointestinal tract. *Digestion* 60, 332–337.
- Segura-Campos, M.R., Salazar-Vega, I.M., Chel-Guerrero, L.A., Betancur-Ancona, D.A., 2013. Biological potential of chia (*Salvia hispanica* L.) protein hydrolysates and their incorporation into functional foods. *LWT - Food Sci. Technol.*

- 50, 723–731.
- Shin, Z.-I., Yu, R., Park, S.-A., Chung, D.K., Ahn, C.-W., Nam, H.-S., Kim, K.-S., Lee, H.J., 2001. His-His-Leu, an Angiotensin I Converting Enzyme Inhibitory Peptide Derived from Korean Soybean Paste, Exerts Antihypertensive Activity in Vivo. *J. Agric. Food Chem.* 49, 3004–3009.
- Singh, B.P., Vij, S., 2017. Growth and bioactive peptides production potential of *Lactobacillus plantarum* strain C2 in soy milk: A LC-MS/MS based revelation for peptides biofunctionality. *LWT* 86, 293–301.
- Singh, B.P., Vij, S., Hati, S., 2014. Functional significance of bioactive peptides derived from soybean. *Peptides* 54, 171–179.
- Surówka, K., Żmudziński, D., Fik, M., Macura, R., Łasocha, W., 2004. New protein preparations from soy flour obtained by limited enzymic hydrolysis of extrudates. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 5, 225–234.
- Thiele, C., Grassl, S., Gänzle, M., 2004. Gluten Hydrolysis and Depolymerization during Sourdough Fermentation. *J. Agric. Food Chem.* 52, 1307–1314
- Webb, K.E., 1990. Intestinal absorption of protein hydrolysis products: a review. *J. Anim. Sci.* 68, 3011–3022.
- Zayas, J. F., (1997). Solubility of Proteins. In J. F. Zayas (Ed.), *Functionality of Proteins in Food* (pp. 6-75). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Zhang, J.-H., Tatsumi, E., Ding, C.-H., Li, L.-T., 2006. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides in douchi, a Chinese traditional fermented soybean product. *Food Chem.* 98, 551–557.
- Zotta, T., Piraino, P., Ricciardi, A., McSweeney, P.L.H., Parente, E., 2006. Proteolysis in model sourdough fermentations. *J. Agric. Food Chem.* 54, 2567–2574.



The effect of wheat flour substitution with soy protein derivatives on the increase in angiotensin converting enzyme inhibitory activity of dough bioactive peptides

R. Bataghva¹, M. Mehraban Sangatash^{2*}, A. Ehtiati²

Received: 2019.08.27

Accepted: 2019.12.09

Introduction: Hypertension is the result of angiotensin converting enzyme (ACE) activity in the vessel wall membrane. This enzyme converts angiotensin I to angiotensin II which results in vessel wall stiffness and an increase in blood pressure. Inhibition of ACE activity is a therapy for hypertension. In addition to synthetic inhibitors, some bioactive peptides (which are the products of protein proteolysis) have been identified as ACE inhibitors. Bread is a widely consumed bakery product all over the world. During dough fermentation, yeast proteases hydrolyze wheat flour proteins to prepare amino acid for cell growth. Natural cereal proteases are considered to be the other sources of protease. Proteolysis produces peptides in dough, which are bake-stable and have physiological effects on human body. Soy protein is a valuable plant protein, reported to be a source of peptides with ACE inhibitory activity and can be used to induce diversity in peptide species during dough fermentation. In this study, a completely randomized factorial design was created to evaluate the effect of the type of soy protein derivative, wheat flour substitution level and fermentation time on the ACE inhibitory activity of dough bioactive peptides.

Materials and Methods: Wheat flour was substituted with 3 soy protein derivatives, including soy protein isolate, extruded soy protein and soy protein hydrolysate at 5 and 10%. Moreover, fermentation time was adjusted at 30, 60 and 90 min. Dough aqueous extract was evaluated in terms of molecular weight distribution using SDS-PAGE technique. The extract was then filtered through 3KDa membrane to separate short-chain peptides (theoretically <30 amino acids). Peptide concentration was determined using UV absorbance difference. The peptide solution was tested for the degree of hydrolysis based on OPA complexation reaction and ACE inhibition activity using FAPGG as the reaction substrate at two peptide concentrations. The experiments were triplicated and data were analyzed by ANOVA and Fisher's mean comparison test using MINITAB software.

Results and Discussion: Based on the SDS-PAGE pattern, it was observed that samples had a high level of low molecular weight peptides fraction were those enhanced with extruded soy proteins and soy protein hydrolysate. This results indicated that the addition of soy protein derivatives led to a higher content of short-chain peptides compared with wheat dough. The results also showed that all the examined variables, i.e. the type of protein, substitution degree and fermentation time, significantly affected the degree of hydrolysis and ACE inhibition activity of the separated peptides. The maximum degree of hydrolysis was observed in samples with soy protein hydrolysate- which was expected to have greater peptides diversity. This might be the reason for the higher ACE inhibition activity observed for these samples. Addition of Soy protein extrudate resulted in a higher degree of hydrolysis compared with soy protein isolate revealing that the extrusion technique caused to increase the protein susceptibility to proteolysis during fermentation along with the higher content of broken amino acid chains. The higher wheat flour substitution level resulted in a higher degree of hydrolysis, while in the case of ACE inhibitory activity, it was not significant. Overall, longer fermentation time increase the degree of hydrolysis, but led to lower ACE inhibition activity, probably due to active peptides hydrolysis. Wheat flour itself had a high level of ACE inhibition activity at the shortest fermentation time, compared with composite flours, while this activity was reduced at extended fermentation time. IC₅₀ was the highest for the samples containing soy protein hydrolysate, surely a benefit from the initial proteolysis. In conclusion, the wheat flour substitution with 5% soy protein hydrolysate substitution, would lead to reasonable ACE inhibition activity and is suggested for bread formulation with hypertension lowering effect. It also needs more research to be done in order to evaluate substitution degrees lower than 5%, because it was observed that peptides diversity was more important than high hydrolysis degree. Overall, soy protein extrusion enhanced proteolysis and short-chain peptides production during fermentation which is a better option compared with isolated soy protein.

Keywords: Angiotensin Converting Enzyme, Bread, hydrolysate, Soy protein extrudate, Soy protein isolate

1 Department of Food Science and Technology, ACECR Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

2 Department of Food Quality and Safety, Food Science and Technology Research Institute, ACECR Khorasan Razavi Branch, Mashhad, Iran

(* Corresponding Author: mehraban@acecr.ac.ir)

مقاله علمی - پژوهشی

بهینه‌سازی استخراج و اصلاح ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پروتئین و فیبر باقلا توسط اولتراسوند و هیدرولیز آنزیمی

محیا اورجی^۱ - مزدک علمی^{۲*} - علی معتمدزادگان^۳ - شیرین شکوهی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶

چکیده

در بین حبوبات مختلف، باقلا حاوی مقدار زیادی پروتئین، فیبر، ویتامین‌های گروه B و مواد معدنی است که می‌توان با هدف توسعه مواد غذایی نوین با مشخصات تغذیه‌ای بهبود یافته مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش جهت بهینه‌سازی استخراج و اصلاح ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پروتئین و فیبر باقلا، از اولتراسوند و هیدرولیز آنزیمی استفاده شد. به طوری که پروتئین‌های باقلا تحت تاثیر اولتراسوند در قدرت‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ وات و در طی مدت زمان‌های ۱۵، ۲۵ و ۳۵ دقیقه و آنزیم آلکالاز LFG 2.4 در دوزهای مصرفی ۰/۱۵، ۰/۳ و ۰/۴۵ درصد در مدت زمان‌های ۱۵، ۲۵ و ۳۵ دقیقه استخراج و تیمارها توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت طراحی شدند. استخراج فیبر باقلا، تحت شرایط قلیایی از محلول ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۲ و ۰/۱۲ درصد هیدروکسید سدیم تا رسیدن به pH ۱۲، ۱۱ و ۱۰ و آنزیم Termamy 2x جهت هیدرولیز آنزیمی استفاده شد. نتایج نشان داد، استفاده از اولتراسوند و هیدرولیز آنزیمی تاثیر مثبتی در حلالیت، ظرفیت جذب روغن و میزان خاصیت امولسیون‌کنندگی نمونه‌های پروتئین باقلا داشت. همچنین پتانسیل زتا تمام تیمارها منفی بود، که نشان می‌دهد محلول تیمارهای پروتئین باقلا حاوی آمینواسیدهایی با بار منفی بیشتری نسبت به اسیدهای آمینه با بار مثبت است. در بین نمونه‌های فیبر باقلا، نمونه فیبر با pH ۱۰ بالاترین ظرفیت نگهداری آب و بالاترین سطح G' که نشان‌دهنده وجود ویژگی جامد و الاستیکی بیشتری نسبت به دو نمونه دیگر است را نشان داد. همچنین در تمامی نمونه‌های فیبر، با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته کاهش یافت و یک رفتار رقیق‌شونده با برش یا سودوپلاستیک از خود نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: باقلا، استخراج، پروتئین، فیبر.

مقدمه

ارزش تغذیه‌ای، به‌ویژه در کشورهای خاورمیانه، پر اهمیت است (Caliskanturk et al., 2017). باقلا یک گیاه یک ساله است که می‌توان در مناطق مختلف آب و هوایی کشت داد (Multari et al., 2015). باقلا حاوی ۲۱-۴۱٪ پروتئین، ۵۱-۶۸٪ کربوهیدرات، ۵-۸٪ برحسب ماده خشک فیبر، ویتامین‌های گروه B و مواد معدنی است (Hendawey and Younes, 2013). پروتئین این گیاه منبع غنی از اسید آمینه لیزین می‌باشد و به‌غیر از تریپتوفان، متیونین و سیستین، پروتئین این گیاه از لحاظ سایر اسیدهای آمینه قابل رقابت با سویا می‌باشد (Quemener, 1988). این دانه همچنین دارای مقدار چربی و مواد ضدتغذیه‌ای (رافینوز و استاکیوز) کمتری در مقایسه با سویا می‌باشد (Zee et al., 1988). در سال‌های اخیر عملکرد پروتئین باقلا، به‌ویژه ایزوله پروتئین آن، برای کاربرد در محصولات غذایی، در مقیاس آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است و نشان‌دهنده قابلیت خوب

در سال‌های اخیر، دانه‌های حبوبات به دلیل غنی بودن از پروتئین، فیبرها، مواد معدنی و دیگر ترکیبات زیست فعال، با هدف توسعه مواد غذایی نوین با ویژگی‌های تغذیه‌ای بهبود یافته، مورد توجه قرار گرفته‌اند. شواهدی وجود دارد که مصرف حبوبات باعث کاهش خطر ابتلا به دیابت، بیماری‌های قلبی عروقی و برخی سرطان‌ها می‌شوند (Coda et al., 2017). حبوبات، حدوداً دو برابر محتوای پروتئینی بالاتری نسبت به غلات دارند و جایگزین خوبی برای گوشت می‌توانند باشند (Rosa et al., 2016). همچنین حبوبات سطوح فیبرهای نامحلول بالاتری در مقایسه با فیبرهای محلول دارند (Tiwari & Cummins, 2011).

باقلا (*faba Vicia*) متعلق به خانواده Fabaceae است (Amani et al., 2017) و به‌عنوان یک نوع لوبیا شناخته می‌شود، که از نظر

۴- استادیار، پژوهشگر توسعه فناوری های شیمیایی، پلیمری و پتروشیمیایی، پژوهشگاه صنعت نفت.

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

DOI: 10.22067/ifstj.v16i5.81629

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری.

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی.

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

هیدرولیز پروتئین با استفاده از پروتئازها از منابع مختلف، فرآیندی است که برای افزایش هضم، کاهش عوامل آلرژیک، تقویت خصوصیات عملکردی و تولید پپتیدهای زیست فعال مورد مطالعه قرار گرفته است (Janser *et al.*, 2017). در این خصوص Nivala و همکاران (۲۰۱۷) به منظور بهبود پایداری کلونیدی^۱ و خواص کف‌کنندگی پروتئین‌های جو دوسر و باقلا، اقدام به تهیه ذرات کلونیدی پروتئین‌ها با استفاده از آنزیم‌های Transglutaminase و Tyrosinase نمودند. خواص کف‌کنندگی و میزان حلالیت ایزوله پروتئین باقلا با افزایش میزان آنزیم‌ها، کاهش و اتصالات عرضی پروتئین باقلا افزایش یافت ولی بر پایداری کلونیدی چندان موثر نبود.

حبوبات به طور کلی، مقدار بالایی از فیبر رژیمی را در رژیم غذایی تامین می‌کنند و به عنوان بخشی از درمان رژیم دیابت و در کاهش سطح کلسترول خون نقش دارند که نشان‌دهنده اهمیت درمانی آن‌ها است. تحقیقات نشان داده است که حبوبات سطوح فیبرهای نامحلول بالاتری در مقایسه با فیبرهای محلول دارند (Tiwari & Cummins, 2011). در سال‌های اخیر به علت اهمیتی که فیبرهای رژیمی پیدا کرده‌اند روش‌های مختلفی برای تجزیه آن‌ها به وجود آمده است که بسیاری از این روش‌ها بسیار دقیق و ویژه بوده، برخی از آن‌ها دارای آنزیم‌هایی می‌باشند که با درجه خلوص بالا تهیه می‌شوند و به طور انتخابی سبب رها شدن الیگوساکاریدها و پلی‌ساکاریدهای محتوی فیبر رژیمی می‌شوند (Rocio *et al.*, 2006). در این تحقیق امکان بهره‌گیری از روش فراصوت و هیدرولیز محدود آنزیمی در راستای افزایش راندمان استخراج و بهبود ویژگی‌های عملکردی پروتئین و فیبر باقلا مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد استفاده شده شامل، دانه باقلا رقم برکت تهیه شده از اصفهان (ایران)، آنزیم آلكالاز 2.4 L FG (باسیلوس لیجینی فورمیس، نووانزیم، دانمارک)، آنزیم Termamly 2x (باسیلوس فورمیس، نووانزیم، دانمارک)، سود (Merck, Darmstadt, Germany)، اسید کلریک (Merck, Darmstadt, Germany)، روغن ذرت (معمولی)، بافر فسفات ۰/۱ مولار (Merck, Darmstadt, Germany)، سولفات سدیم ۰/۱ درصد (Merck, Darmstadt, Germany)، اسید سیتریک (Jining foreign trading Co, Shandong, China) بوده است.

تمام خواص شیمیایی آرد دانه باقلا شامل، محتوای پروتئین، کربوهیدرات، چربی، خاکستر و فیبر با استفاده از روش‌های استاندارد تایید شده انجمن آمریکایی شیمیادانان غلات (AACC) اندازه‌گیری شدند (AACC, 2000).

آن در هیدراتاسیون، حلالیت، امولسیون‌کنندگی، ویسکوزیته، تشکیل فوم و ژل می‌باشد (Giang *et al.*, 2016). همچنین تحقیقات نشان داده که پروتئین باقلا دارای توانایی بیشتری در امولسیون‌کنندگی، کف‌کنندگی در مقایسه با آرد ماش، نخود و لوبیا بوده است (Khosravi *et al.*, 2013). ویژگی‌های ساختاری و عملکردی مذکور در ایزوله‌ها و کنسانتره‌های پروتئین حبوبات از جمله باقلا به شدت تحت تاثیر روش‌های آماده‌سازی، استخراج و خشک کردن آن‌ها می‌باشد (Multari *et al.*, 2015). انتخاب شرایط و تکنولوژی مناسب برای استخراج پروتئین می‌تواند در کارایی و ویژگی‌های تغذیه‌ای فرآورده نهایی موثر باشد. طیف گسترده‌ای از روش‌ها جهت استخراج و تجزیه پروتئین و پپتیدها مانند روش‌های اسیدی، قلیایی، آنزیمی و غیره وجود دارد که بر میزان استخراج و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ساختاری آن‌ها مانند حلالیت، هیدروفوبیته، وزن مولکولی، نقطه ایزوالکتریک و غیره تاثیرگذار هستند (Martinez *et al.*, 2013).

یکی از روش‌های بهبود استخراج و بهینه‌سازی ویژگی‌های پروتئین می‌تواند روش اولتراسوند و هیدرولیز کنترل شده آنزیمی باشد، Martinez و همکارانش (۲۰۱۸) گزارش کردند که اولتراسوند با شدت بالا باعث بهبود فعالیت سطحی، بهبود روند استخراج و جداسازی و تغییر ساختار پروتئین باقلا می‌شود. Jiang و همکارانش (۲۰۱۴) اثر اولتراسوند در فرکانس پایین (۲۰ کیلوهرتز) با استفاده از قدرت‌های مختلف در مدت زمان‌های مختلف بر ویژگی‌های عملکردی و ساختاری ایزوله پروتئین لوبیا سیاه را بررسی کردند که نتایج حاصل از طیف انتشار فلورسانس نشان داد که ساختار سه‌بعدی پروتئین‌های لوبیا سیاه پس از تیمار با اولتراسونیک تغییر می‌کند به طوری که در ۲۴ دقیقه اندازه ذرات به حداقل می‌رسد. همچنین Mu و همکارانش در سال ۲۰۱۰، گزارش دادند که استفاده از اولتراسوند می‌تواند به طور قابل توجهی راندمان استخراج پروتئین را افزایش و هزینه‌های کل تولید پروتئین سویا را کاهش دهد. برخی از مطالعات تغییر در ساختمان مولکولی پروتئین‌ها پس از تیمار با اولتراسوند با شدت بالا را بررسی کردند که تغییرات در گروه‌های سولفیدریل آزاد، اندازه ذرات، هیدروفوبیته سطحی، تغییر ساختمان دوم پروتئین‌ها و تقویت فعالیت سطحی را در آنها ایجاد کرد و اکثر محققین تاثیر اولتراسوند با شدت بالا را بر خواص عملکردی پروتئین‌ها خصوصاً افزایش خواص هیدروفوبیک و کاهش اندازه ذرات تایید کرده‌اند (Mu *et al.*, 2010).

Chen و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که اولتراسوند باعث تشدید هیدرولیز آنزیمی پروتئین‌ها می‌شود و همچنین به طور قابل توجهی خواص رئولوژیکی، حلالیت، فعالیت سطحی و خصوصیات امولسیون‌کنندگی کنسانتره پروتئین سویا را و همچنین توانایی ژل شدن ایزوله پروتئین سویا را تقویت می‌نماید.

1. Colloidal Stability

تنظیم شد و به مدت ۲۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ (B4/100، بهسان، ایران) تحت نیروی گریز از مرکز با ۴۰۰۰ rpm قرار گرفت. در ادامه سوپرناتانت جمع آوری شد و توسط اسیدکلریک ۰/۱ نرمال به pH ۴/۵ رسید و به مدت ۱ ساعت در این pH نگهداری شد و در نهایت با آب شستشو داده و توسط سود ۲ نرمال به pH نهایی ۷ رسید و توسط فریز درایر (GTFD-20، گزلین طب ایران، ایران) خشک شد و در دمای ۱۸- درجه نگهداری شد. (Lu et al., 2015 و Nivala et al., 2017). هر کدام از نمونه‌های پروتئین تیمار شده با سطوح مختلفی از قدرت و زمان اولتراسوند و میزان و زمان مصرف آنزیم در جدول ۱ کدگذاری شدند.

روش تهیه و استخراج پروتئین باقلا

دانه‌های باقلا پس از خارج شدن از غلاف و پوسته، خرد، خشک و آسیاب شدند و برای یکنواختی ابعاد از مش ۶۰ عبور داده شد. ۱۰۰ گرم از آرد باقلا با نسبت ۱:۱۰ (w/v) در آب مقطر پراکنده شد. ترکیب آماده شده تحت تاثیر دستگاه اولتراسوند (UP400A، توسعه فناوری مافوق صوت، ایران) در قدرت‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ W و در طی مدت زمان‌های ۱۵، ۲۵ و ۳۵ دقیقه قرار گرفت. سپس آنزیم آلكالاز 2.4 LFG به میزان ۰/۱۵، ۰/۳ و ۰/۴۵ درصد در مدت زمان‌های ۱۵، ۲۵ و ۳۵ دقیقه به ترکیب اضافه شد. pH ترکیب مورد نظر توسط، سود ۱ نرمال در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱ ساعت در pH ۹

جدول ۱- کد گذاری نمونه‌های پروتئین استخراج شده از باقلا

فاکتورها/کد نمونه	توان اولتراسوند (W)	زمان سونیکیشن (min)	دوز آنزیم (%)	زمان اعمال آنزیم (min)
FBP1	۳۰۰	۳۵	۰/۱۵	۲۵
FBP2	۳۰۰	۲۵	۰/۴۵	۱۵
FBP3	۴۰۰	۳۵	۰/۳۰	۱۵
FBP4	۲۰۰	۱۵	۰/۱۵	۱۵
FBP5	۳۰۰	۱۵	۰/۳۰	۳۵
FBP6	۲۰۰	۲۵	۰/۳۰	۲۵
FBP7	۲۰۰	۳۵	۰/۴۵	۳۵
FBP8	۴۰۰	۲۵	۰/۱۵	۳۵
FBP9	۴۰۰	۱۵	۰/۴۵	۲۵

(FBP=Faba Bean Protein = باقلا = پروتئین استخراج شده از باقلا)

آزمون حلالیت پروتئین

حلالیت پروتئین^۱ باقلا با استفاده از روش Boye و همکاران (۲۰۱۰) اندازه‌گیری شد. اندیس حلالیت پروتئین در pHهای مختلف از نسبت ۲ به ۱۰ اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه ۱۰۰ mg از پروتئین به‌دست آمده در ۱۰ میلی‌لیتر از آب مخلوط و pH آن توسط محلول اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال در محدوده‌های مختلف تنظیم گردید. مخلوط برای ۳۰ دقیقه هم‌زده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در سانتریفوژ (B4/100، بهسان، ایران) و ۴۰۰۰ g قرار داده شد. میزان پروتئین شناور (آبگریز) بدین صورت که میزان پروتئین محلول را از کل پروتئین‌های نمونه ابتدایی محاسبه می‌کند. حلالیت به صورت درصد پروتئین موجود در مایع رویی به کل پروتئین در نمونه اولیه محاسبه شد و پروفایل حلالیت براساس میانگین حلالیت پروتئین نمونه‌های تکراری در pHهای مختلف به‌دست آمد.

اندازه‌گیری ظرفیت جذب چربی در پروتئین

ظرفیت جذب چربی^۲ در ۳ بار تکرار با استفاده از روش Lin و Humbert (۱۹۷۴) تعیین شد. حدود ۰/۵ گرم نمونه با ۳ میلی‌لیتر از روغن ذرت در داخل یک لوله مدرج به مدت ۱ دقیقه توسط شیکر مخلوط و سانتریفوژ شد، پس از سانتریفوژ (6 Labnet، آمریکا) در ۴۰۰۰ g برای ۳۰ دقیقه، قسمت شناور جدا شد و توزین گردید با توجه به رابطه (۱) میزان FAC٪ تعیین شد.

$$FAC (\%) = 100 \times (\text{وزن نمونه} / \text{وزن روغن جذب شده توسط نمونه}) \quad (1)$$

خاصیت امولسیون‌کنندگی^۳ پروتئین

جهت تعیین خاصیت امولسیون‌کنندگی از روش اصلاح شده Boye و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شد. ۱/۵ میلی‌لیتر روغن ذرت به ۴/۵ میلی‌لیتر از محلول پروتئین ۰/۵ درصد وزنی حجمی در بافر فسفات

دقیقه انجام شد. جهت درمان و هیدرولیز آنزیمی، آنزیم Termamy 2x به محلول اضافه شد. ترکیبات جامد به دست آمده از سانتریفوژ، صاف شدند و در آون با دمای ۴۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. نمونه های فیبر باقلا تیمار شده با سطوح مختلف pH در جدول ۲ کدگذاری شدند.

جدول ۲- کدگذاری نمونه های فیبر استخراج شده از باقلا

کد نمونه فیبر	pH
FBF.10	۱۰
FBF.11	۱۱
FBF.12	۱۲

(فیبر استخراج شده از باقلا در pH = ۱۰، FBF.10، فیبر استخراج شده از باقلا در pH = ۱۱، FBF.11، فیبر استخراج شده از باقلا در pH = ۱۲ (FBF.12))

اندازگیری ظرفیت نگهداری آب در فیبر

جهت اندازه گیری ظرفیت نگهداری آب، ۳ گرم فیبر خشک شده با ۳۰ میلی لیتر آب مقطر درون لوله های سانتریفوژ در درجه حرارت اتاق مخلوط و پس از ۱۸ ساعت، نمونه ها با دور ۵۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. فاز بالایی دور ریخته شده و فاز پایینی به یک صافی که از قبل وزن شده بود، منتقل گردید. پس از گذشت ۱۵ دقیقه، نمونه مرطوب به همراه صافی وزن شده و درون آون تحت خلا با دمای ۱۱۰ به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه خشک شده به همراه صافی وزن شده و سپس ظرفیت نگهداری آب (رابطه ۴) در دوترکار، ۲۴ ساعت پس از تولید محاسبه گردید (Maani *et al.*, 2016).

وزن نمونه - وزن نمونه مرطوب = ظرفیت نگهداری آب
(۴) وزن نمونه خشک / (خشک)

آزمون های رئولوژی فیبر

آزمون های رئولوژی توسط دستگاه رئومتر (MCR ۳۰۱، پار فیزیکا اتریش) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد انجام می شود. در این آزمون از ۲ صفحه موازی زبر استفاده می گردد، قطر صفحه دستگاه ۲۵ میلی متر و فاصله ایجاد شده بین دو صفحه ۱ میلی متر در نظر گرفته می شود. آزمون روبش کرنش، در کرنش متغیر ۱۰۰-۰/۰۱٪ و فرکانس ثابت ۱ HZ، به منظور تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی انجام می شود (حداکثر کرنشی که ماده می تواند تحمل کند اما تغییرات غیرقابل برگشت در ساختار آن به وجود نیاید). سپس آزمون روبش فرکانس در زیر منطقه ویسکوالاستیک خطی انجام خواهد شد. این آزمون در مقدار

۰/۰۱ مولار (pH:۷) اضافه شد. سپس مخلوط در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای اتاق برای مدت ۲ دقیقه با هموژنایزر اولتراتوراکس (T25، IKA، آلمان) هموژن گردید. ۲/۵ میلی لیتر از امولسیون جدا شده از قسمت زیرین در زمان های مختلف و با ۵۰ میلی لیتر از محلول سولفات سدیم رقیق گردید. سپس میزان رقت امولسیون تشکیل شده در یک طول موج ثابت ۵۰۰ نانومتر و به وسیله اسپکتروفتومتر مرئی (UV-uv 2100، amico آمریکا) تعیین گردید. شاخص فعالیت امولسیفایری^۱ (رابطه ۲) و شاخص پایداری امولسیفایری^۲ (رابطه ۳) محاسبه شد.

$$\text{Emulsifying activity index (EAI)} (\text{m}^2/\text{g}) = [2 \times 2.303 \times A_0/0.25 \times \text{Protein concentration}] \quad (2)$$

$$\text{Emulsion stability index (ESI)} (\text{min}) = [A_0 \times \Delta t / \Delta A] \quad (3)$$

A_0 میزان جذب در ۰ دقیقه، A_{10} میزان جذب در ۱۰ دقیقه، $\Delta A = A_0 - A_{10}$ و $\Delta t = 10 \text{ min}$

اندازگیری پتانسیل زتا پروتئین

پتانسیل زتا با آماده سازی محلول پروتئینی (۰/۰۵٪، W/W) در بافر فسفات ۰/۰۱ مولار pH ۷، با استفاده از پراکندگی نور لیزری در دستگاه Zetasizer (Nano-ZS, Malvern, UK) اندازه گیری شد (Tirgar *et al.*, 2017).

روش تهیه و استخراج فیبر باقلا

تهیه، استخراج و اصلاح فیبر باقلا با استفاده از روش های اصلاح و تغییر یافته Feng و همکاران (۲۰۱۷) و اصلاح زاده و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد. فاز ته نشین شده پس از جداسازی سوپرناتانت از مرحله استخراج پروتئین با پراکسید هیدروژن تحت شرایط قلیایی تیمار گردید. در مرحله اول به منظور قلیایی نمودن محیط از محلول ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۲ و ۰/۱۲ درصد هیدروکسید سدیم تا رسیدن به pH ۱۲، ۱۱ و ۱۰ استفاده شد. بدین ترتیب که نمونه باقی مانده از استخراج پروتئین باقلا با محلول آبی هیدروکسید سدیم مخلوط شده و سوسپانسیون حاصله توسط دستگاه مخلوط کن با درجه ۲ به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد هموژن گردید. به منظور جلوگیری از تبخیر محلول قلیایی و تغییر pH محیط، یک درب شیشه ای بر روی بشر حاوی ترکیبات قرار داده شد. سپس سوسپانسیون حاصله توسط سانتریفوژ (B4/100، بهسان، ایران) با دور ۴۰۰۰ g سانتریفوژ گردید و رسوب به دست آمده بعد از شستشو نهایی، صاف و در معرض مرحله رنگبری قرار گرفت. در این مرحله پراکسید هیدروژن به عنوان عامل رنگبر در سطح ۷٪ اضافه شد. عملیات همزدن در دمای ۶۰ درجه به مدت ۶۰

پروتئین می‌باشد. بنابراین، حلالیت پروتئین می‌تواند بر ایجاد طعم، بافت و ارزش غذایی تاثیرگذار باشد (Du *et al.*, 2017). به این جهت، تعیین حلالیت این پروتئین‌ها در pHهای بین ۲-۱۰ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). به‌طور کلی، برای همه نمونه‌های پروتئین باقلا، بیشترین حلالیت در pH با محدوده ۲-۳ و ۷-۱۰ مشاهده شد. حلالیت اکثر نمونه‌ها، در pH ۴، ۵ و ۶ کمترین مقدار را نشان داد. مشاهدات مشابه مطالعات انجام شده بر روی کنسنتره پروتئین تولید شده نخود، نخودفرنگی و عدس با استفاده از تکنولوژی اولترافیلتراسیون و ایزوالکتریک (Boye *et al.*, 2010)، پروتئین ماش (Du *et al.*, 2017) و ایزوله پروتئین لوبیا و سویا (Tan *et al.*, 2014) بود. در نقطه ایزوالکتریک، پروتئین به علت برابری بارهای مثبت و منفی در سطح مولکولی، در حالت خنثی الکتریکی قرار دارد. واکنش‌های هیدروفوبیکی بین پروتئین‌ها بسیار بزرگتر از نیروی دافعه هیدروفیل و هیدراتاسیون که توسط بار باقی مانده تولید شده، می‌باشد. بنابراین کمترین مقدار حلالیت و تجمع در نقطه ایزوالکتریک رخ می‌دهد (Constantinides & Adu-Amankwa, 1980; Eromosele *et al.*, 2008). حلالیت نمونه‌هایی که تحت تاثیر اولتراسوند و هیدرولیز آنزیمی قرار گرفتند به‌طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه بدون استفاده از اولتراسوند و هیدرولیز آنزیمی افزایش داشتند ($p < 0.05$).

کرنش ثابت و فرکانس متغیر HZ ۱۰۰-۰/۰۱ صورت می‌گیرد. از این آزمون فاکتورهای مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') به‌عنوان تابعی از فرکانس، به‌دست می‌آید (Aslanzadeh *et al.*, 2012).

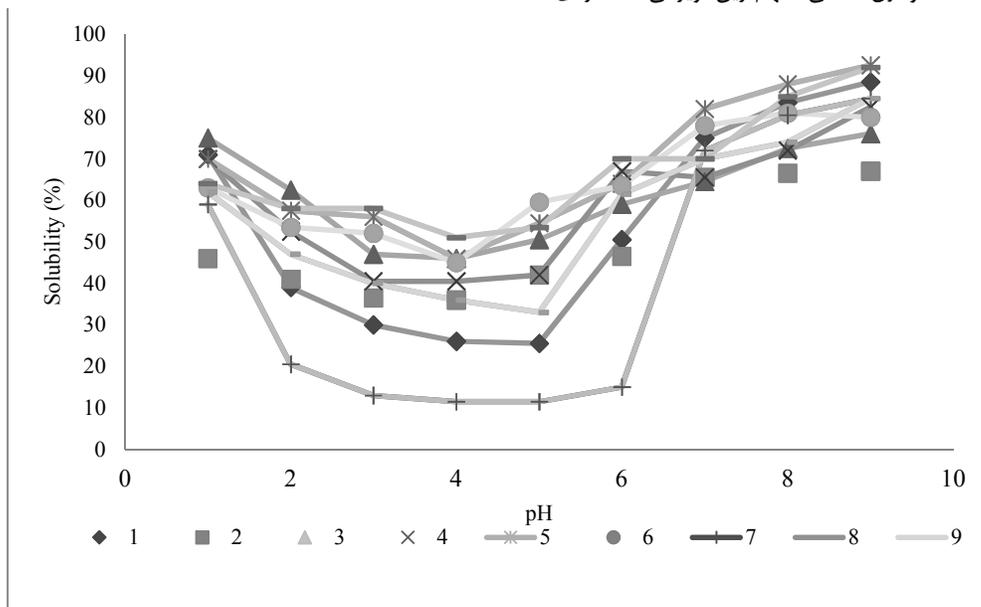
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور طراحی تیمارها از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های مختلف با ۳ تکرار به‌صورت کاملاً تصادفی، از نرم‌افزار مینی تب ۱۶ استفاده شد و تجزیه و تحلیل‌ها در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ انجام گرفت. با استفاده از این نرم‌افزار ابتدا نرمال بودن نتایج بررسی شد. سپس اگر نتایج بر منحنی توزیع نرمال منطبق بودند، از آزمون پارامتری آنالیز واریانس ANOVA و در صورت عدم انطباق، آزمون غیرپارامتری کروسکال-والیس جهت بررسی تفاوت معنی‌دار بین داده استفاده گردید، بررسی معنادار بودن میانگین نتایج نمونه‌ها با یکدیگر نیز با استفاده از آزمون توکی انجام شد.

نتایج و بحث

آزمون حلالیت پروتئین استخراج شده از باقلا

حلالیت پروتئین به علت تاثیر بر ویژگی‌هایی مانند امولسیون‌کنندگی، کف و ژل‌کنندگی، مهم‌ترین ویژگی عملکردی



شکل ۱- حلالیت نمونه‌های پروتئین باقلا در pHهای ۲-۱۰

کاهش قدرت اولتراسوند و زمان کاهش یافت. Jiang و همکاران (۲۰۱۴) احتمال دادند، مولکول‌های پروتئین به‌طور جزئی در اثر اولتراسوند گسترش می‌یابند در واقع زنجیره پروتئینی شکسته شده و

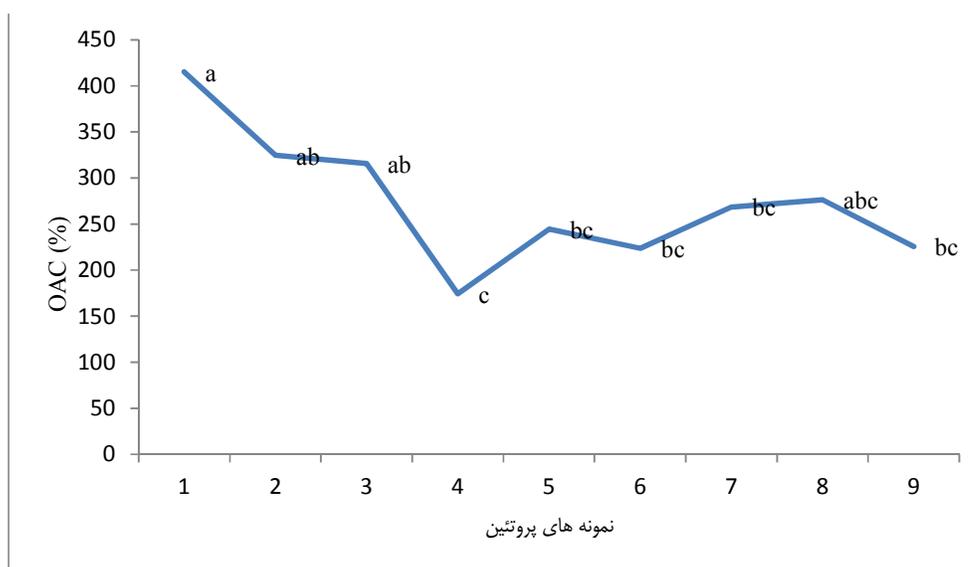
این نتایج با نتایج مطالعات قبلی که نشان دادند اولتراسوند موجب افزایش حلالیت پروتئین می‌شود مطابقت داشت و حلالیت پروتئین با افزایش شدت و زمان اولتراسوند، افزایش می‌یابد همچنین حلالیت با

می‌باشد (Okezie & Bello, 1988). نتایج پژوهش (شکل ۲)، اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بین نمونه‌های پروتئین باقلا از نظر جذب روغن نشان دادند به طوری که بیشترین میزان جذب روغن در نمونه FBP1 (توان و زمان اولتراسوند W ۳۰۰، ۳۵ و دوز آنزیم و مدت هیدرولیز، ۰/۱۵٪، ۲۵ دقیقه) به میزان ۴۱۵/۳۰٪ و کمترین جذب روغن در نمونه FBP4 (توان و زمان اولتراسوند W ۲۰۰ و ۱۵ دقیقه و دوز آنزیم و مدت هیدرولیز ۰/۱۵٪ و ۱۵ دقیقه) به میزان ۱۷۴/۴۰٪ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، استفاده از اولتراسوند و هیدرولیز آنزیمی تاثیر مثبتی در افزایش جذب روغن داشته است، در حالیکه Abdel-Aal و همکاران (۱۹۸۶) نشان دادند که ظرفیت جذب روغن در کسناتره پروتئین استخراج شده به روش نقطه ایزوالکتریک در باقلا، ۷۶/۶٪ بوده است.

ساختار سطحی بیشتری در دسترس قرار می‌گیرد و این باعث افزایش تعامل بین پروتئین‌ها و مولکول‌های آب می‌شود. ارزانی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که اولتراسونیک می‌تواند اندازه ذرات را کاهش دهد و باعث افزایش تعاملات پروتئین و آب و در نتیجه افزایش حلالیت پروتئین شود.

اندازه‌گیری ظرفیت جذب روغن در پروتئین استخراج شده از باقلا

مکانیسم جذب روغن شامل اتصالات فیزیکی روغن با اجزا پروتئینی و میل ترکیبی زنجیره پروتئین‌های غیرقطبی برای اتصال با چربی می‌باشد (Kinsella, 1979). اتصال چربی در واقع توانایی پروتئین‌ها برای جذب و حفظ آب و چربی می‌باشد که این دو عامل از عوامل موثر در کیفیت بافت و ساختار ماده غذایی و مزه و طعم غذاها



شکل ۲- میزان ظرفیت جذب روغن در نمونه‌های پروتئین باقلا

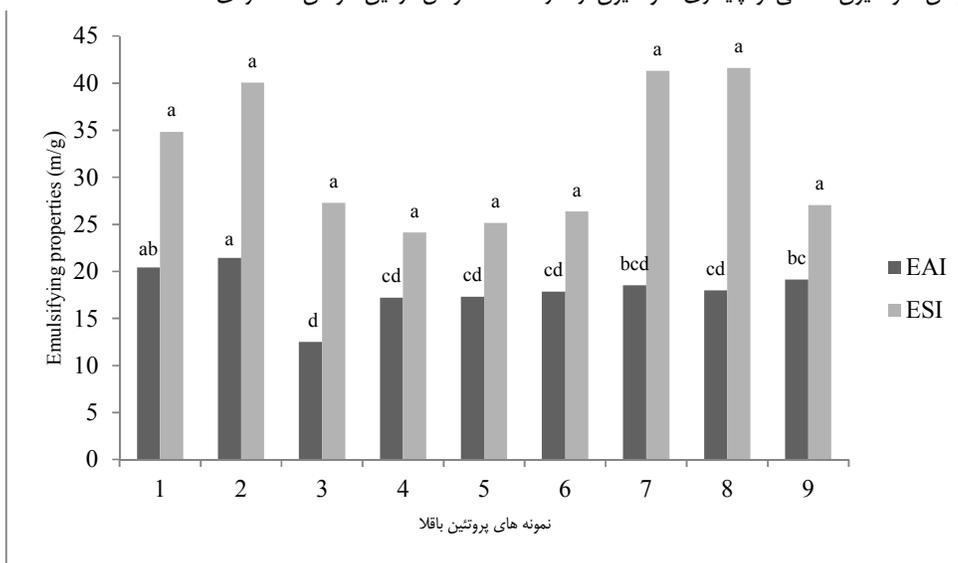
برای تیمار FBP2 (بیشترین) به‌دست آمد. به طوری‌که افزایش توان اولتراسوند و افزایش دوز مصرفی آلکالاز ۲/۴ باعث افزایش فعالیت امولسیفایری شد. شاخص پایداری امولسیفایری تیمارهای پروتئین باقلا اختلاف معنی‌داری، نشان نداد ($p > 0.05$) و ESI تیمارها بین ۲۱/۴۳ min در تیمار FBP4 (کمترین) و ۴۱/۶۰ min در تیمار FBP8 (بیشترین) به‌دست آمد. حلالیت در تشکیل امولسیون نقش مهمی را ایفا می‌کند، پروتئین‌هایی که حلالیت کمتری دارند امولسیفایری خوبی نیستند و باعث لخته شدن امولسیون می‌شوند (Moure et al., 2006). افزایش حلالیت پروتئین باعث نفوذ سریعتر پروتئین به سطح مشترک بین دو فاز آب-روغن می‌شود و باعث فعالیت امولسیون‌کنندگی

امولسیون‌کنندگی پروتئین استخراج شده از باقلا

خاصیت امولسیفایری پروتئین باقلا به‌وسیله فعالیت امولسیفایری (EAI) و شاخص پایداری امولسیفایری (ESI) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). EAI ظرفیت پروتئین را در جهت کمک به تشکیل امولسیون نشان می‌دهد در حالیکه ESI یک معیار سنجش برای تعیین توانایی پروتئین در ایجاد مقاومت ساختار امولسیونی در یک دوره زمانی مشخص را فراهم می‌کند (Okezie & Bello, Liu et al., 2008). نتایج نشان دادند، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای پروتئین باقلا وجود دارد ($p < 0.05$). میزان EAI تیمارهای پروتئین باقلا، بین ۱۲/۵۰ m^2/g و ۲۱/۴۲ m^2/g (کمترین) برای تیمار FBP4 (کمترین) و

تشکیل قطرات کوچک در امولسیون یافتند. Yust و همکاران (۲۰۰۳) افزایش پایداری امولسیون‌های تهیه شده از پروتئین‌های هیدرولیز شده نخود توسط آلکالاز را گزارش دادند. Avramenko و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند، کاهش گروه‌های هیدروفوبیک در سطحی پروتئین عدس هیدرولیز شده توسط تریپسین با کاهش پایداری امولسیون همراه بود. Sikorski (۲۰۰۱) گزارش داد که خواص امولسیون پروتئین حبوبات به شدت تحت تاثیر اندازه مولکولی، گروه‌های هیدروفوبیک، بار شبکه و انعطاف‌پذیری مولکولی است با این حال در میان این ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، گروه‌های هیدروفوبیک و بار سطحی شبکه مهم‌ترین عوامل در این خواص عملکردی هستند.

پروتئین‌ها می‌شود (Singhe *et al.*, 2008). Amaral و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند، امولسیون‌های حاصل از پروتئین هیدرولیز شده لوبیا سیاه تحت درمان آنزیم آلکالاز بسیار پایدارتر از هیدرولیز با استفاده از پپسین بودند، زیرا امولسیون‌های تهیه شده با پروتئین‌های حاصل از هیرولیز پپسین دارای اندازه بزرگتری نسبت به امولسیون‌های تهیه شده از آلکالاز بودند. تشکیل ذرات کوچک در امولسیون‌هایی که با هیدرولیز آلکالاز تهیه می‌شود، ممکن است به علت آبگریزی بیشتر این هیدرولیز و در نتیجه تعامل بیشتر ذرات باشد. Kimura و همکاران (۲۰۰۸) خواص عملکردی پروتئین‌های بومی را از لوبیاهای مختلف مطالعه کردند، بهترین خواص امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون را در



شکل ۳- خصوصیات امولسیون‌کنندگی نمونه‌های پروتئین باقلا

آنزیم پروتاز در دوزهای متوسط و زیاد ممکن است بار منفی سطحی پروتئین‌ها را افزایش دهند.

جدول ۳- میزان پتانسیل زتا پروتئین‌های استخراج شده از باقلا

نام نمونه	پتانسیل زتا
FBP1	-۱۶/۵۵ ± ۰/۹ ^b
FBP2	-۲۲/۸۰ ± ۰/۲ ^d
FBP3	-۲۳/۵۵ ± ۰/۶ ^d
FBP4	-۱۸/۱۵ ± ۰/۴ ^b
FBP5	-۲۱/۳۰ ± ۰/۸ ^{cd}
FBP6	-۲۲/۳۵ ± ۰/۶ ^d
FBP7	-۱۷/۹۵ ± ۰/۴ ^b
FBP8	-۱۸/۵۰ ± ۰/۷ ^b
FBP9	-۱۸/۹۰ ± ۰/۸ ^{bc}

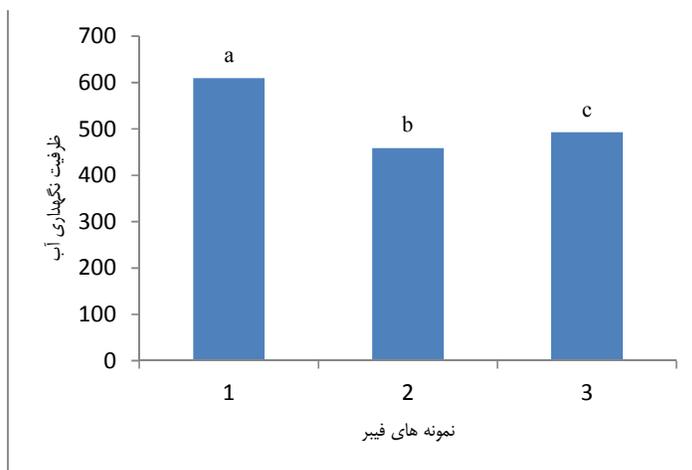
پتانسیل زتا پروتئین استخراج شده از باقلا

به‌طور معمول، اگر اسیدهای آمینه حاضر با بار مثبت بیشتر از اسیدهای آمینه منفی باشد، پتانسیل زتا محلول پروتئینی مثبت است (Bouzid *et al.*, 2008). طبق جدول ۳، پتانسیل زتا تمام تیمارهای مورد بررسی، منفی بود، که نشان‌دهنده این است که، محلول تیمارهای پروتئین باقلا حاوی آمینواسیدهای با بار منفی بیشتری نسبت به اسیدهای آمینه با بار مثبت است. نتایج نشان دادند اگرچه قدر مطلق عددی پتانسیل زتا نمونه‌های تحت فراصوت، افزایش می‌یابد اما میزان بار منفی این پتانسیل در قدرت‌های متوسط و بالای فراصوت به شدت کاهش می‌یابد و نکته مهم در این خصوص این است که بار سطحی موثر ذرات پروتئینی میزان حلالیت، پراکندگی و تجمع و خصوصیات فعال سطحی آن‌ها را تعیین می‌کند (Song *et al.*, 2013). بنابراین نتایج به‌دست آمده، اولتراسونیکاسیون در قدرت‌های متوسط و بالا و میزان

ظرفیت نگهداری آب در فیبر استخراج شده از باقلا

مطابق جدول ۴، میانگین ظرفیت نگهداری آب در نمونه فیبر با pH ۱۰ (FBF10) تفاوت معنی‌داری با دو نمونه دیگر (FBF11 و FBF12) نشان داد ($p < 0.05$). به طوری که تیمار FBF10 بیشترین میزان ظرفیت نگهداری آب را داشت. در حالی که معانی و همکاران (۲۰۱۶) بیشترین میزان ظرفیت نگهداری آب در فیبر برنج قهوه ای را در pH ۱۲/۵ یافتند. همچنین Aslanzadeh و همکاران (۲۰۱۲) بیشترین میزان WHC در سبوس گندم را در pH ۱۱/۵ یافتند و اظهار داشتند که تیمار سبوس گندم با پراکسید هیدروژن تحت شرایط قلیایی موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب شده است. صالحی فر و فدایی نوغانی (۲۰۱۳)، راندمان استخراج در فیبر رژیمی تهیه شده از سبوس برنج به روش آنزیمی را بالا بیان کردند زیرا استفاده از آنزیم‌های آمیلاز، پروتاز و آمیلوگلوکوزیداز، نشاسته و پروتئین و سایر کربوهیدرات‌هایی که ناخالصی محسوب می‌گردند را جداسازی می‌کند و در نهایت میزان بیشتری فیبر حاصل می‌گردد.

نتایج به‌دست آمده با مشاهدات Giang و همکاران (۲۰۱۴) بسیار نزدیک بود. آن‌ها بیان کردند که اولتراسونیکاسیون در قدرت متوسط موجب افزایش میزان بار سطحی منفی ایزوله پروتئینی لوبیا سیاه، تقویت نیروی دافعه الکترواستاتیک درون مولکولی، باز شدن لخته‌های پروتئین موجود، ممانعت از تجمع و لخته شدن بیشتر ذرات و بهبود پایداری دیسپرسیون‌های پروتئینی می‌شود که این پدیده منجر به افزایش حلالیت پروتئین می‌شود. در تحقیق حاضر میزان پتانسیل زتا پروتئین استخراج شده باقلا بدون تاثیر اولتراسوند و آنزیم ۱۱/۸۰- به‌دست آمد که از همه نمونه‌ها بیشتر بود در حالیکه Johnston و همکاران (۲۰۱۵)، میزان پتانسیل زتا ایزوله پروتئین باقلا که به روش قلیایی استخراج شده بود را ۴۶/۴- به‌دست آوردند. پروتئین‌ها دارای بار منفی در pH ۷ هستند، زیرا همه آن‌ها بالاتر از نقطه ایزوالکتریک خود هستند (که پتانسیل زتا صفر است). بار منفی خالص در pH ۷ به‌طور عمده از بار منفی گروه‌های R بر روی آمینو اسیدهای آسپارات و گلوتمات در سطح پروتئین قرار دارد.

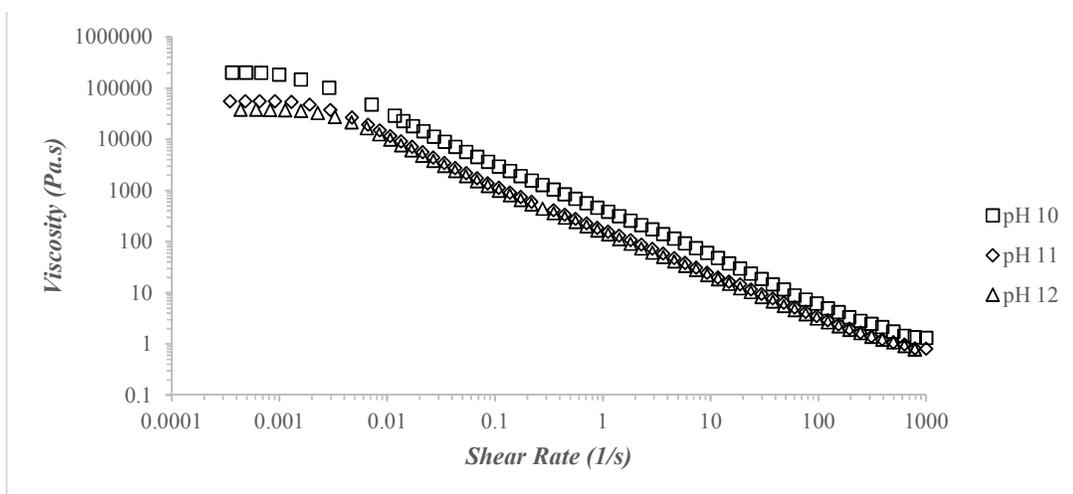


شکل ۴- ظرفیت نگهداری آب در نمونه‌های فیبر

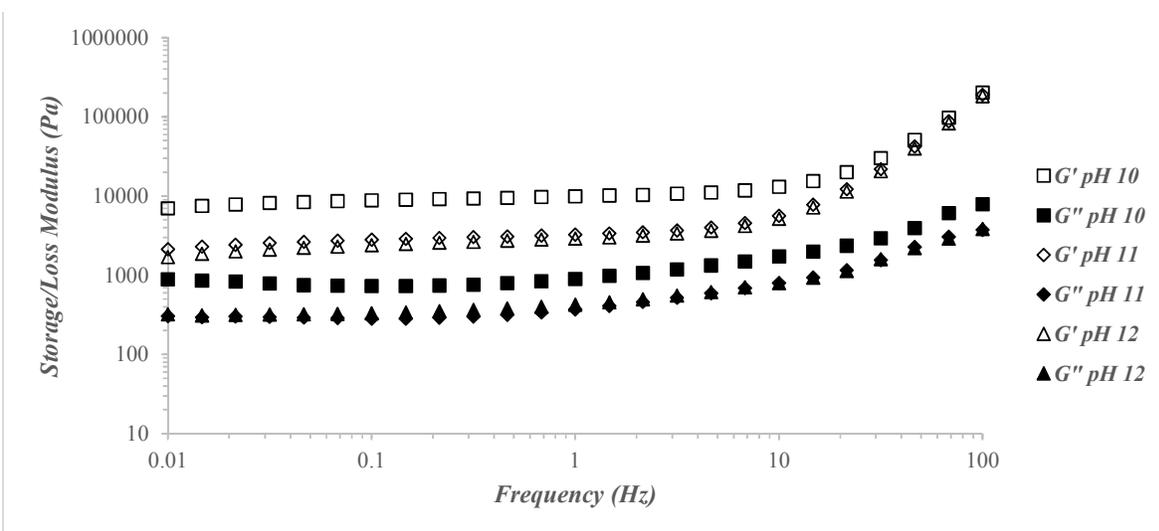
فیبر را نشان می‌دهد. بالاتر بودن G' از G'' نشان‌دهنده غالب بودن ویژگی‌های جامد و الاستیک می‌باشد و وابسته بودن روند تغییرات مدول ذخیره و افت به فرکانس، نشان‌دهنده این است که ساختار ژل ضعیف است (Maani et al., 2016 & Karim et al., 2017). در همه نمونه‌های فیبر باقلا میزان G' از G'' بالاتر بوده است به طوری که در نمونه FBF10 که دارای pH ۱۰ بالاترین سطح G' نسبت به دو نمونه دیگر مشاهده شد که نشان‌دهنده وجود ویژگی جامد و الاستیکی بیشتری نسبت به دو نمونه دیگر است و نیز با توجه به وابسته نبودن روند تغییرات مدول ذخیره و افت به فرکانس در کلیه نمونه‌ها، یک ساختار ژل قوی را از خود نشان دادند.

آزمون رئولوژی

شکل ۵، روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری نسبت به سرعت برشی در نمونه‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌ها با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته کاهش می‌یابد و یک رفتار رقیق‌شونده با برش یا سودوپلاستیک در کلیه نمونه‌ها مشاهده می‌گردد. این رفتار نتیجه یک تخریب ساختاری شدید ناشی از اعمال برش در امولسیون‌های غلیظ بوده است. این نتایج مشابه مطالعات انجام شده توسط Feng و همکاران (۲۰۱۷) بود به طوری که آن‌ها نیز کاهش ویسکوزیته فیبر پوسته لوبیا سیاه را با افزایش سرعت برشی نشان دادند. شکل ۶، روند تغییرات مدول ذخیره (G') و افت (G'') با افزایش فرکانس از ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز و در کرنش ثابت ۰/۳٪ در نمونه‌های



شکل ۵- روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری نسبت به سرعت برشی در تیمارهای فیبر باقلا در pH های ۱۰، ۱۱ و ۱۲



شکل ۶- تغییرات مدول ذخیره (G') و افت (G'') با افزایش فرکانس از ۰/۰۱ تا ۱۰۰ هرتز در تیمارهای فیبر باقلا در pH های ۱۰، ۱۱ و ۱۲

به‌طور مستقیم بر بافت غذا و خواص حسی آن موثرند در نتیجه، از پروتئین باقلا می‌توان جهت توسعه مواد غذایی نوین با مشخصات تغذیه‌ای بهبود یافته استفاده کرد. همچنین، استخراج فیبر باقلا با محلول هیدروکسید سدیم با pH ۱۰ و پراکسید هیدروژن ۷٪ و هیدرولیز آنزیمی باعث بهبود قابل توجهی در ظرفیت نگهداری آب و ویژگی‌های رئولوژی فیبر باقلا شد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بهینه‌سازی استخراج و اصلاح ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پروتئین و فیبر باقلا انجام شد. استخراج پروتئین باقلا تحت شرایط تیمار با اولتراسوند همراه با هیدرولیز آنزیمی کنترل شده باعث بهبود خصوصیات عملکردی پروتئین باقلا شامل خصوصیات امولسیون‌کنندگی، حلالیت و روغن‌گردید. از آنجایی که این خواص

منابع

- اصلان‌زاده، م.، میزانی، م.، گرامی، ع.، علیمی، م.، ۱۳۹۰، بررسی عملکرد پراکسید هیدروژن بر روی ویژگی‌های فیزیکی فیبر رژیمی تولید شده از سبوس گندم، فصلنامه علوم غذایی و تغذیه، دوره ۹، شماره ۴، ۲۸-۲۱.
- صالحی فر، م.، فدایی نوغانی، و، ۱۳۹۲، بررسی قابلیت استخراج فیبر رژیمی از سبوس برنج و مقایسه خواص عملکردی آن با فیبر تجاری گندم، علوم غذایی و تغذیه، ۶۱، ۳۰-۲۱.
- AACC (2000c). American association of cereal chemists. Approved method 56-30 (10th ed.). St. Paul, MN, USA.
- Abdel-Aal, E. S. M., Shehata, A. A., El-Mahdy, A. R., & Youssef, M. M. (1986). Extractability and functional properties of some legume proteins isolated by three different methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37(6), 553-559.
- Amani, M. M., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., Maggi, F. (2017). Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, 167, ISSN 0959-6526.
- Amaral, D. E. J., Levien, V. N., Zanella, P. V., De, B. J. J., Renato, G. D., A & Rosa, Z, E. D. (2017). Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein hydrolysates: physicochemical and functional properties. *Food Chemistry*, 214, 460-467.
- Arzeni, C., Martinez, K., Zema, P., Arias, A., Perez, O., & Pilosof, A. (2012). Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering*, 108(3), 463-472.
- Aslanzadeh, M., Mizani, M., Alimi, M & Gaeami, A. (2012). Rheological properties of low fat mayonnaise with different levels of modified wheat bran. *Food Biosciences and Technology*, 2, 27-34.
- Avramenko, N. A., Low, N. A & Nickerson, M. T. (2013). The effects of limited enzymatic hydrolysis on the physicochemical and emulsifying properties of a lentil protein isolate. *Food Research International*, 51, 162-169.
- Bouzd, H., Rabiller-Baudry, M., Paugam, L., Rousseau, F., Derriche, Z., & Bettahar, N. E. (2008). Impact of zeta potential and size of caseins as precursors of fouling deposit on limiting and critical fluxes in spiral ultrafiltration of modified skim milks. *Journal of Membrane Science*, 314(1), 67-75
- Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribereau, S., Mondor, M., Farnworth, E & Rajamohamed, S.H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43, 537-546.
- Caliskanturk, K. S., Gunay, D & Sayar, S. (2017). In vitro evaluation of whole faba bean and its seed coat as a potential source of functional food components. *Food Chemistry*, 230, 182-188.
- Coda, R., Varis, J., Verni, M., G. Rizzello, C & Katina, K. (2017). Improvement of the protein quality of wheat bread through faba bean sourdough addition. *Food Science and Technology*, 82, 296-302.
- Constantinides, A., & Adu-Amankwa, B. (1980). Enzymatic modification of vegetable protein: Mechanism, kinetics, and production of soluble and partially soluble protein in a batch reactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 22(8), 1543-1565.
- Chen, L., Chen, J., Ren, J., & Zhao, M. (2011). Effects of ultrasound pretreatment on the enzymatic hydrolysis of soy protein isolates and on the emulsifying properties of hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2600-2609.
- Du, M., Xie, J., Gong, B., Xu, X., Tang, W., Li, X., Li, Ch., Xie, M. (2017). Extraction, physicochemical characteristics and function properties of mung bean protein. *Food Hydrocolloids*, 1-10.
- Eromosele, C. O., Arogundade, L. A., Eromosele, I. C., & Ademuyiwa, O. (2008). Extractability of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) protein in acid, salt and alkaline aqueous media. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1622-1628.
- Feng, Z., Dou, W., Alaxi, S., Niu, Y & Yu, L. (2017). Modified soluble dietary fiber from black bean coats with its rheological and bile acid binding properties. *Food Hydrocolloids*, 62, 94-101.
- Hendawey, M. H & Younes, A. M. A. (2013). Biochemical evaluation of some faba bean cultivars under rainfed conditions at El-Sheikh Zuwayid. *Annals of Agricultural Sciences*, 58, 183-193.
- Janser. S. d. C, R., Granato, C, V & Harumi. S, H. (2017). Binary mixture of proteases increases the antioxidant properties of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein-derived peptides obtained by enzymatic hydrolysis. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10, 291-297.
- Jiang, L., Wang, J., Li, Y., Wang, Zh., Liang, J., Wang, R., Chen, Y., Ma, W., Qi, W & Zhang, M. (2014). Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates. *Food Research International*, 62, 595-601.
- Johnston, S. P., Nickerson, M. T & Low, N. H. (2015). The physicochemical properties of legume protein isolates and their ability to stabilize oil-in-water emulsions with and without genipin. *J Food Sci Technol*. 52(7), 4135-4145.
- Karim, M., Alimi, M., Shokoohi, S & Fazeli, F. (2017). Effect of long-chain inulin and modified starch on the physicochemical and rheological properties of doogh (Iranian yogurt drink). *Acta Alimentaria*, 46 (1), 51-60.
- Kinsella, J. E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56, 242-258.

- Khosravi, Y., Keramat, J., Hoseini, E., Keshavarz, H. A. & Mahmodi, E. (2013). Investigating the effect of pH and ionic concentration on foaming and emulsifying different Iranian beans. *Innovation in Science and Technology*, 1, 99-111(in Persian).
- Kimura, A., Fukuda, T., Zhang, M., Motoyama, S., Maruyama, N., & Utsumi, S. (2008). Comparison of physicochemical properties of 7S and 11S globulins from pea, fava bean, cowpea, and French bean with those of soybean-french bean 7S globulin exhibits excellent properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 10273-10279.
- Lin, M. J. Y., & Humbert, E. S. (1974). Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science*, 39(2), 368-370.
- Lu, W., Chen, X. W., Wang, J. M., Yang, X. Q., Qi, J. R. (2015). Enzyme-Assisted Subcritical Water Extraction and Characterization of Soy Protein from Heat-Denatured Meal. *Journal of Food Engineering*.
- Maani, B., Alimi, M., Shokoohi, S & Fazeli, F.(2016). Substitution of modified starch with hydrogen peroxidemodified rice bran in salad dressing formulation: physicochemical, texture, rheological and sensory properties. *Texture Studies*, 48, 205-214.
- Martinez, M. D., Hernandez, B., Amigo, L., Miralles, B & AngelGomez, J.(2013). Extraction/Fractionation techniques for proteins and peptides and protein digestion. *Food Microbiology and Food Safety* 2.
- Martinez, V. A., Lobato, C. C., Hernandez, R. B. E., Roman, G. A., Alvarez, R. J., Vernon, C. E. J. (2018). High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 44, 97-105.
- Mu, L., Zhao, M., Yang, B., Zhao, H., Cui, C., & Zhao, Q. (2010). Effect of ultrasonic treatment on the graft reaction between soy protein isolate and gum acacia and on the physicochemical properties of conjugates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4494-4499.
- Moure, A., J. Sineiro, J., Herminia Dominguez, H & Parajo, J.C. (2006). Functionality of oilseed protein products: A review. *J. Food Research International* 39, 945-963.
- Multari, S., Stewart, D & Russell, W. R. (2015). Potential of Fava Bean as Future Protein Supply to Partially Replace Meat Intake in the Human Diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 511-522.
- Nivala, O., Makinen, O. E., Kruus, K., Nordlund, E & Ercili, C. D. (2017). Structuring colloidal oat and faba bean protein particles via enzymatic modification. *Food Chemistry*, 231, 87-95.
- Okezie, B. O., Bello, A. B. (1988). Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. *Food Sci*, 53, 450-454.
- Quemener, B. (1988).Improvements in the high pressure liquid chromatographic determination of amino sugars and α -galactosides in faba bean, lupin and pea. *Journal of Agriculture and food chemistry*, 36,754-759.
- Rosa,S. N., Heiniö, R. L., Cassan, D., Holopainen, M, U., Micard, V., Lantto, R & Sozer, N. (2016). Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *Food Science Technology*, 67, 27-36.
- Rocio, R., Jimenez, A., Fernandez, B. J., Guillen, R & Heredia, A. (2006). Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 3-15.
- Singh, G., Wani, A.A., Kaur,D, and Dalbir Singh Sogi, D. (2008). Characterization and functional properties of proteins of some Indian chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *J Sci Food Agric* 88:778-786.
- Sikorski, Z. E. (2001). Functional properties of proteins in food systems. In Z. E. Sikorski (Ed.), *Chemical and functional properties of food proteins* (pp. 113-135).
- Song, X., Zhou, C., Fu, F., Chen, Z., & Wu, Q. (2013). Effect of high-pressure homogenization on particle size and film properties of soy protein isolate. *Industrial Crops and Products*, 43, 538-544
- Tan, E. S., Ngoh, Y. Y & Gan, C. Y. (2014). A comparative study of physicochemical characteristics and functionalities of pinto bean protein isolate (PBPI) against the soybean protein isolate (SPI) after the extraction optimization. *Food Chemistry*, 152, 447-455.
- Tirgar, M., Silcock, P., Carne, A & Birch, E.J. (2017). Effect of extraction method on functional properties of flaxseed protein concentrates. *Food Chemistry*, 215, 417-424.
- Tiwari, U & Cummins, E. (2011).Functional and physicochemical properties of legume fiber. *Pula Foods, Processing, Quality and Nutraceutical Applications*, 121-156.
- Yust, M. M., Pedroche, J., Giro' n-Calle, J., Alaiz, M., Milla' n, F., & Vioque, J. 2003. Production of ace inhibitory peptides by digestion of chickpea legumin with alkalase. *Food Chemistry*, 81, 363-369.
- Zee, J. A., Boudreau, A., Bourgeois, M. and Breton, R. (1988). Chemical composition and nutritional quality of faba bean (*Vicia faba* L.Minor) based tofu. *Journal of Food Science*, 53(6), 1772-1774, 1781.



Optimization of the extraction and modification of physicochemical properties of protein and fiber in ViciaFaba by ultrasound and enzymatic hydrolysis

M. Ouraji, M. Alimi, A. Motamedzadegan, Sh. Shokoohi

Received: 2019.06.30

Accepted: 2019.12.17

Introduction: In recent years, legumes have been highly considered as a good source of protein, fibers, minerals and other bioactive compounds in order to develop novel foods with improved nutritional properties. There is some evidence that legume consumption reduces the risk of diabetes, cardiovascular disease and some cancers. Vicia faba has about twice protein content as cereals and can be a good alternative to meat and protein-rich ingredients. It should also be noted that the amount of insoluble fiber is higher than soluble fibers in legume. Vicia faba belongs to the Fabaceae family. Vicia faba contains high protein (21-41% dry content of the bean), carbohydrates (51-68% dry content of the bean), fiber (5-5.8%), B-vitamins and minerals. Recently, the protein function of Vicia faba, especially its protein isolate, has been studied on a laboratory scale for use in food products, due to its good ability in hydration, solubility, emulsification, viscosity, and foam and gel formation. Research has also shown that the protein in Vicia faba has better ability to emulsify water and oil and foaming capacity and foam stability compared to bean and pea flour. The structural and functional properties of the protein isolates and concentrates of legumes such as Vicia faba are strongly influenced by their preparation, extraction and drying methods. One of the ways to improve extraction and optimization of protein properties can be ultrasound and an enzymatic controlled hydrolysis. Due to the importance of dietary fiber, various methods have been developed for their decomposition, many of which are very precise and special, some of which have high-purity enzymes and selectively release oligosaccharides and polysaccharides containing dietary fiber. In this study, the possibility of using ultrasound and limited enzymatic hydrolysis in order to produce value added product and increase the extraction efficiency and improve the functional properties of protein and fiber of Vicia faba, were evaluated.

Materials and Methods: In this study, ultrasound and enzymatic hydrolysis were used to optimize extraction and modify physicochemical properties of protein and fiber of ViciaFaba. The proteins were affected by ultrasound at 200, 300 and 400 W for 15, 25 and 35 minutes, and the *Alcalase* enzyme 2.4 LFG at 0.15, 0.3 and 0.45% doses were extracted at 15, 25 and 35 minutes and the design of the treatments was done by Designer Express software. Solubility, oil absorption capacity, emulsification and zeta potential of protein samples were measured. Vicia faba fiber extraction under alkaline conditions was obtained from solutions of 0.0012, 0.012 and 0.12% sodium hydroxide until reaching pH 12, 11 and 10 and Termamy 2x enzyme was used for enzyme hydrolysis. Water retention capacity and rheological properties of Vicia Faba fiber samples were investigated.

Results and Discussion: The results showed that the use of ultrasound and enzymatic hydrolysis had a positive effect on solubility, oil absorption capacity and emulsion properties of the protein samples. Zeta potential was also negative for all treatments, which indicates that the Vicia faba protein treatment solution contains more negative amino acids than positive-loaded amino acids. Among the fiber samples of the ViciaFaba, a fiber sample with a pH of 10 had the highest water retention capacity and G-level than the other two samples, indicating a more solid and elastic quality. Also, in all fiber samples, increasing cutting speed reduced the viscosity and the samples showed a dilution action with cutting or pseudoplastic.

Keywords: Viciafaba, extraction, protein, fiber.

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر پوشش خوراکی حاوی کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای

مهیار راد^{1*} - حامد غفوری² - زهره غلامی³

تاریخ دریافت: 1398/07/16

تاریخ پذیرش: 1398/09/30

چکیده

قارچ‌های خوراکی از فسادپذیرترین محصولات هستند و بلافاصله بعد از برداشت شروع به از دست دادن کیفیت می‌کنند که ماندگاری کوتاه این محصولات منجر به ایجاد مشکلاتی در هنگام پخش و بازاریابی این محصول به صورت تازه می‌شود. پوشش‌های خوراکی وسیله‌ای مناسب برای طولانی کردن عمر مفید مواد غذایی و افزایش کیفیت آنها بدون ایجاد آلودگی محیط زیست هستند. در این تحقیق بررسی امکان افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای با استفاده از آنزیم بری و بعد پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم مورد مطالعه قرار گرفت. متغیرهای مستقل شامل غلظت کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم (صفر تا 2 درصد) و مدت زمان نگهداری تا 16 روز در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بودند. آزمایشات بر اساس 3 فاکتور سه سطحی حاوی 6 نقطه مرکزی بعد از صفر و 4 و 8 و 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد طراحی شد. آزمایش‌های انجام شده روی قارچ دکمه‌ای شامل اندازه‌گیری pH، درصد افت وزن، مواد جامد محلول، بافت، رنگ، میزان قهوه‌ای شدن، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و شمارش کپک و مخمر بود. نتایج در این پژوهش نشان داد که نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد کربوکسی متیل سلولز به همراه غلظت 2 درصد متابی سولفیت سدیم باعث افزایش pH و میزان مواد جامد محلول گردید. کمترین مقدار شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و شمارش کپک و مخمر بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد در نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد کربوکسی متیل سلولز به همراه غلظت 2 درصد متابی سولفیت سدیم مشاهده شد. همچنین کمترین تغییرات رنگ، افت وزن و کاهش در سفتی بافت در این نمونه مشاهده گردید. بر اساس نتایج این پژوهش، پوشش‌های کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم را می‌توان به‌عنوان یک ماده پوشش‌دهنده مناسب برای حفظ خصوصیات ارگانولپتیکی، شیمیایی، میکروبی و ماندگاری قارچ دکمه‌ای مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: پوشش خوراکی، قارچ دکمه‌ای، کربوکسی متیل سلولز، متابی سولفیت سدیم، ماندگاری

مقدمه

وجود کوتیکول، سرعت بالای تنفس، رطوبت زیاد و فعالیت آنزیمی شدید دارای ماندگاری کمی نسبت به سایر محصولات باغی بوده و در مقابل آسیب‌های مکانیکی بسیار حساس می‌باشد. این عوامل قارچ را برای فساد میکروبی و قهوه‌ای شدن آنزیمی مستعد می‌کند. عمر مفید نگهداری قارچ بین 3 تا 5 روز است و علت عمده تغییر رنگ قارچ، فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز است (خضرای و همکاران، 1394؛ سیاهرودی و همکاران، 1394؛ پاسان و همکاران، 1392). محققین روش‌های مختلفی نظیر استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته، انجماد، خشک کردن، تیمار با محلول‌های آبی حاوی ترکیبات مهارکننده فعالیت آنزیمی و آنزیم‌بری را جهت نگهداری و افزایش زمان ماندگاری قارچ مورد بررسی قرار داده‌اند. خشک کردن معمول‌ترین

پرورش و تولید قارچ‌های خوراکی طی سال‌های اخیر به‌طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) پر طرفدارترین قارچ خوراکی بوده و بیشترین بازار تولید و مصرف را به‌خود اختصاص داده است (خضرای و همکاران، 1394؛ سیاهرودی و همکاران، 1394). 20-35 درصد ماده‌ی خشک اغلب قارچ‌ها را پروتئین تشکیل می‌دهد. پروتئین قارچ از لحاظ اسیدهای آمینه جزء غنی‌ترین پروتئین‌ها محسوب می‌شود. وجود مقادیر بالای ویتامین‌های گروه B و C، عناصر و مواد معدنی و مقادیر پایین کربوهیدرات نشاسته‌ای و کلسترول سبب توجه بیشتر به قارچ به‌عنوان یک ماده غذایی کم‌کالری می‌باشد (زاهدی و صداقت، 1390). قارچ پس از برداشت به دلیل عدم

3- دانشجوی دکتری شیمی آلی، دانشگاه گیلان

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

DOI: 10.22067/iftstr.v16i5.83614

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، موسس غیرانتفاعی مهرآیین بندر انزلی، گیلان، رضوانشهر.

2- دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار

ژل آلوتهورا و عصاره گزنه به‌عنوان یک ترکیب نگهدارنده طبیعی با کلرید کلسیم و اسیدسیتریک باعث کاهش سرعت فرآیندهای متابولیکی و حفظ ساختار سلول‌ها و در نهایت موجب حفظ خصوصیات کیفی قارچ دکمه‌ای خوراکی و افزایش مدت نگهداری می‌گردد و تأثیر بهتری نسبت به تیمار ژل آلوتهورا و عصاره گزنه به همراه اسیدآسکوربیک داشت (سیاهرودی و همکاران، 1394).

طی مطالعه‌ای روی اثر پوشش خوراکی بر کیفیت و تغییرات میکروبی نوعی قارچ خوراکی بدین نتیجه رسیدند که ترکیب گلوکز و کیتوزان، افت وزن و آلودگی میکروبی قارچ خوراکی را در مدت نگهداری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد و باعث بهبود ظاهری و بهبود خواص حسی و رنگ، ویتامین C و ماندگاری بیشتر قارچ خوراکی می‌شود (جیانگ و همکاران، 2012).

هدف از این بررسی تأثیر پوشش خوراکی کربوکسی‌متیل سلولز و متابی‌سولفیت سدیم روی ویژگی‌های شیمیایی، ارگانولپتیکی و میکروبی قارچ دکمه‌ای برای افزایش ماندگاری قارچ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

قارچ دکمه‌ای³ از محل پرورشی در شهرستان رضوانشهر تهیه گردید و تحت شرایط استاندارد به محل آزمون انتقال یافت.

آنزیم بری

قارچ‌ها در دمای 95 درجه سانتی‌گراد به مدت یک دقیقه (جیانگ و همکاران، 2015) در داخل دستگاه روتاری خلا (حمام آب گرم) قرار گرفتند تا عمل آنزیم‌بری صورت گیرد. سپس قارچ‌ها از آب خارج و خنک گردیدند و روی توری قرار داده شدند تا آب اضافی آنها خارج شود.

پوشش دهی

پوشش دهی قارچ‌ها توسط کربوکسی‌متیل سلولز و متابی‌سولفیت سدیم (هر دو در غلظت‌های صفر (شاهد)، 1 و 2 درصد) انجام شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

محلول کربوکسی‌متیل سلولز و متابی‌سولفیت سدیم در غلظت‌های مورد نظر در آب مقطر آماده شد (جدول 1). سپس قارچ‌ها در محلول‌های مورد نظر به مدت یک دقیقه قرار گرفتند تا لایه نازکی از پوشش روی قارچ تشکیل گردد. سپس نمونه‌های قارچ از محلول خارج و روی توری سیمی قرار گرفتند تا قطرات اضافی محلول از نمونه‌ها جدا و پوشش خشک شود. سپس نمونه‌ها در ظروف یکبار مصرف

روش‌های فرآوری جهت افزایش مدت زمان نگهداری قارچ می‌باشد (پاسبان و همکاران، 1392). امروزه از پوشش‌های خوراکی جهت جلوگیری از تغییرات نامطلوب کیفی محصولات مختلف استفاده می‌شود. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از پلیمرهای طبیعی تهیه می‌شوند بدون اینکه از مواد شیمیایی استفاده شود و باعث ارتقاء کیفی و افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی می‌شوند و روش مناسب و نوآورانه‌ای از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای می‌باشد و به پوشش‌های پروتئینی، پلی‌ساکاریدی، لیپیدی یا ترکیبی از آنها تقسیم‌بندی می‌شوند که می‌توانند با به تأخیر انداختن در کاهش از دست دادن آب، حفظ ترکیبات معطر، کاهش تنفس و تأخیر در تغییرات ساختاری موجب افزایش نگهداری محصولات غذایی گردند (قربانی و همکاران، 1395؛ سیاهرودی و همکاران، 1394). یکی از مشتقات مهم سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز¹ (CMC) است. سلولز به علت ساختار شیمیایی خاص خود، بسیار کریستالی و نامحلول است اما کربوکسی‌متیل سلولز محلول در آب بوده و به تنهایی فیلم‌های انعطاف‌پذیر و مستحکمی را تشکیل می‌دهد. همچنین کربوکسی‌متیل سلولز یکی از ارزان‌ترین بیوپلیمرهای زیستی است که به‌صورت صنعتی تولید می‌شود (محمدی و همکاران، 1391؛ قنبرزاده و همکاران، 1390). نگهدارنده و یا عوامل ضد میکروبی نقش مهمی در عرضه امروزه از غذاهای سالم و پایدار دارند. برخی از مواد نگهدارنده که معمولاً استفاده می‌شود، مانند: سولفیت‌ها، نیترات و نمک، برای قرن‌ها در گوشت و شراب فرآوری شده استفاده شده‌اند. متابی‌سولفیت سدیم یا سدیم پیروسولفیت گاهی اوقات به‌عنوان دی‌سدیم² نیز نامیده می‌شود. از این ترکیب به‌عنوان یک عامل ضد عفونی‌کننده، آنتی‌اکسیدان، احیاکننده، نگهدارنده و نیز جهت جلوگیری از فساد مواد غذایی استفاده می‌شود (محمدحسینیان و صداقت، 1394).

پوشش خوراکی بر پایه ژل آلوتهورا در غلظت رقیق شده با آب مقطر (25 درصد وزنی-وزنی) و سطوح مختلف عصاره گزنه (غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد) به عنوان تیمار پس از برداشت در گروه حاوی عوامل ضد قهوه‌ای شدن (1% اسید سیتریک، 0/5% کلرید کلسیم و 2% اسید آسکوربیک) بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی و ارزیابی رنگ و ماندگاری قارچ دکمه‌ای سفید طی صفر، 3، 6، 9 و 12 روز انبارمانی در دمای 4±1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 5±80 درصد مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که پوشش آلوتهورا و عصاره گزنه به‌صورت معناداری از افت وزن و تخریب اسیدآسکوربیک نسبت به نمونه شاهد در 12 روز پس از شروع انبارمانی جلوگیری می‌کند. همچنین میزان تغییرات در رنگ، مقدار کل مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و مقدار pH قارچ‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. ترکیب تیمار

3 Agaricus Bisporus

1 Carboxymethyl cellulose

2 Metabisulfite

پلی اتیلینی بسته بندی شدند و در درمای 4 درجه سانتی گراد نگهداری شدند. نمونه‌ها در روزهای صفر تا 16 طی سه تکرار مورد آزمایشات شیمیایی، ارگانولپتیکی و میکروبی قرار گرفتند.

جدول 1- درصد ترکیبات در نمونه‌های مختلف

شماره نمونه	متابی سولفیت سدیم (%)	کربوکسی متیل سلولز (%)
1	0	0
2	0	1
3	0	2
4	2	0
5	1	0
6	1	1
7	1	2
8	2	1
9	2	2

آزمایشات شیمیایی

pH نمونه‌ها با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال خوانده شد (ایسا، 2007).

افت وزنی

جهت تعیین میزان افت وزن قارچ‌ها، ابتدا در روز اول نگهداری (روز صفر) قارچ‌ها وزن شده و سپس در روزهای تعیین شده نیز توزین می‌گردند. درصد کاهش وزن بر اساس رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$(1) \quad \text{درصد کاهش وزن} = \frac{\text{وزن قارچ در روز } x - \text{وزن قارچ در روز صفر}}{\text{وزن قارچ در روز صفر}} \times 100$$

X = وزن قارچ در روزهای تعیین شده (لاگنیکا و همکاران، 2013)

مواد جامد محلول

جهت تعیین میزان مواد جامد محلول، نمونه قارچ دکمه‌ای را با استفاده از دستگاه میکسر هموژن کرده و سپس از کاغذ صافی عبور داده و با دستگاه رفرکتومتری خوانده می‌شود. میزان مواد جامد محلول برحسب درصد (درجه بریکس) بیان می‌گردد (جیانگ و همکاران، 2012).

میزان قهوه‌ای شدن

اندیس قهوه‌ای شدن از پارامترهای مهم اندازه‌گیری واکنش‌های قهوه‌ای شدن می‌باشد. این پارامتر با استفاده از رابطه 2 محاسبه می‌شود (جیانگ، 2013).

$$(2) \quad BI = \frac{100(x-0.31)}{0.172}$$

که مقدار x از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$(3) \quad x = \frac{a+1.75L}{5.645L+a-3.012b}$$

a: میزان قرمز/ سبز بودن

b: میزان زرد/آبی بودن

l: میزان روشنایی/تاریک بودن

آزمایشات ارگانولپتیکی

رنگ

تصویرگیری با استفاده از تجهیزات عکس برداری متشکل از اتاقک تاریک (جهت جلوگیری از ایجاد نوسان در عکس برداری و عدم بازتاب نور) و دو لامپ فلورسانت انجام گرفت. عکس برداری با استفاده از دوربین (cannon power shot 1000D) انجام گرفت. میزان تغییر رنگ (ΔE) نمونه‌های تیمار شده را با قارچ تازه با استفاده از رابطه 4 به دست آمد. a^* ، b^* و L^* به ترتیب میزان پارامتر قرمزی، زردی و روشنایی را در نمونه‌های تحت آزمون نشان می‌دهد (جیانگ، 2013).

$$(4) \quad \Delta E = [(L - 97)^2 + (a - (-2))^2 + b^2]^{1/2}$$

بافت (سفتی)

آزمون نفوذپذیری روی کلاهدک قارچ با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (Brookfield، LFR-4500، آمریکا) توسط پروبی با قطر 5 میلی‌متر انجام گرفت. عمق نفوذ در نمونه‌ها 5 میلی‌متر و سرعت حرکت 2 میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد. حداکثر نیرو (نیوتن) در منحنی نیرو در برابر زمان نفوذ، سفتی تعریف می‌شود (جیانگ، 2013).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A_1 + \beta_2 B_2 + \beta_3 C_3 + \beta_{11} A_1^2 + \beta_{22} B_2^2 + \beta_{33} C_3^2 + \beta_{12} A_1 B_2 + \beta_{13} A_1 C_3 + \beta_{23} B_2 C_3 \quad (5)$$

که در آن Y پاسخ‌های مختلف و β_0 ضرایب ثابت مدل‌ها است. $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ ، $(\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33})$ و $(\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23})$ به ترتیب نشان دهنده اثر خطی، درجه دوم و برهم‌کنش مدل پیشنهادی به وسیله‌ی آنالیز چندگانه رگرسیون می‌باشد. متاب‌ی سولفیت سدیم (A)، کربوکسی متیل سلولز (B)، زمان (C) به عنوان متغیرهای مستقل می‌باشند.

نتایج و بحث

به‌منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی پاسخ، رابطه‌های خطی و چند جمله‌ای درجه دوم برای داده‌ها به‌دست آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفته تا مدل مناسب گزینش گردد. نتایج حاصل از مدل سطح پاسخ در فرم ANOVA برای هر پارامتر به‌صورت جداگانه آورده شده است. متاب‌ی سولفیت سدیم (A)، کربوکسی متیل سلولز (B)، زمان (C) به‌عنوان متغیرهای مستقل و مقدار هر آزمون به‌عنوان متغیر پاسخ وابسته انتخاب شدند.

آزمایشات شیمیایی

pH

نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان pH در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل 0/0011 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R^2 (0/8867) و ضریب تبیین تعیین شده R^2_{adj} (0/7848) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد در غلظت 2 درصد کربوکسی متیل سلولز و متاب‌ی سولفیت سدیم مقدار pH بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتیگراد افزایش یافت. البته این افزایش در نمونه‌های حاوی 1 درصد متاب‌ی سولفیت سدیم در روز 8 نگهداری در دمای 4 درجه سانتیگراد دارای مقدار حداکثر بود. نمونه پوشش داده شده با 2 درصد کربوکسی متیل سلولز بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتیگراد دارای کمترین pH بود و بعد از آن نمونه شاهد در روز 16 نگهداری در دمای 4 درجه سانتیگراد دارای کمترین pH بود. در تحقیقی که توسط سیاهرودی و همکاران (1394) انجام دادند مقدار pH قارچ‌ها پس از پوشش‌دهی و در طی انبارداری

تغییر معنی‌دار و محسوسی نسبت به شاهد نشان نداد.

$$pH = 6.05541 + 1.06835 * A - 0.66925 * B + 0.090356 * C - 3.75000E-003 * A * B + 3.48958E-003 * A * C - 9.11458E-003 * B * C - 0.45676 * A^2 + 0.39041 * B^2 - 2.03267E-003 * C^2 \quad (6)$$

آزمایشات میکروبی

شمارش کلی میکروارگانیزم‌ها

ابتدا میزان مورد نیاز از محیط PCA^1 و محلول رینگر را تهیه و اتوکلاو می‌نماییم. ظرف در پیچ‌دار استریل را روی ترازو قرار داده و ترازو را صفر می‌کنیم. به ازای هر نمونه، 5 گرم از نمونه قارچ را داخل ظرف در پیچ‌دار وزن نموده و به آن 45 میلی‌لیتر از محلول رقیق‌کننده رینگر می‌افزاییم تا سوسپانسیون اولیه تهیه گردد. با استفاده از پیپت استریل، میزان یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه را برداشته و به پلیت استریل منتقل می‌کنیم. حدود 12 تا 15 میلی‌لیتر از محیط پلیت کانت آگار با دمای 44 تا 47 درجه سلسیوس به هر پلیت می‌افزاییم. پس از افزودن محیط کشت به پلیت‌ها، آنها را بوسیله حرکت چرخشی مخلوط و سپس روی سطح افقی خنک قرار می‌دهیم تا کاملاً ببندد. پلیت‌ها را به‌صورت وارونه داخل انکوباتور 30 ± 1 درجه سلسیوس به مدت 72 ± 3 ساعت گرمخانه‌گذاری می‌کنیم. پس از گذشت 72 ساعت، پلیت‌ها را از انکوباتور خارج نموده و شمارش کلنی‌ها را انجام می‌دهیم و نتایج به‌صورت cfu/g بدست آمد (درویشی و همکاران، 1394).

شمارش کپک و مخمر

ابتدا میزان مورد نیاز از محیط کشت YGC^2 و محلول آب پپتونه را تهیه و اتوکلاو می‌نماییم. میزان 12 تا 15 میلی‌لیتر از محیط YGC را درون پلیت‌های استریل ریخته اجازه می‌دهیم تا خنک شده و ببندد. به ازای هر نمونه، 5 گرم از نمونه قارچ را داخل ظرف در پیچ‌دار وزن نموده و به آن 45 میلی‌لیتر از محلول آب پپتونه می‌افزاییم تا سوسپانسیون اولیه تهیه گردد. با استفاده از پیپت استریل مقدار یک دهم میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه را به پلیت حاوی محیط کشت YGC منتقل می‌کنیم. با استفاده از میله شیشه‌ای ال شکل، سوسپانسیون را روی محیط کشت پخش می‌نماییم. پلیت‌ها را به مدت پنج تا هفت روز در انکوباتور $25^\circ C$ گرمخانه‌گذاری می‌کنیم. پس از گذشت این مدت کلنی‌ها را می‌شماریم و نتایج به‌صورت cfu/g بدست آمد (درویشی و همکاران، 1394).

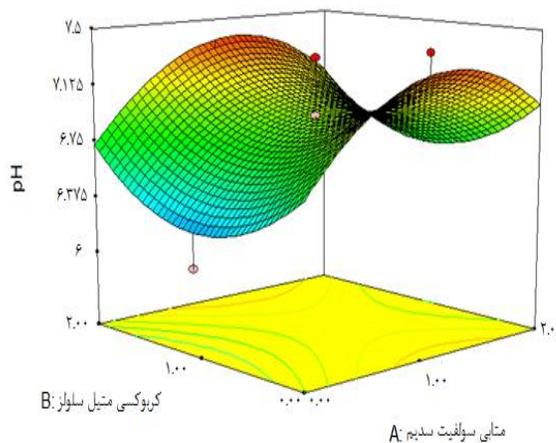
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ و با نرم‌افزار Design Expert 7 انجام گرفت. از طرح CCD^3 با 3 فاکتور متاب‌ی سولفیت سدیم، کربوکسی متیل سلولز و زمان در 3 سطح و 6 تکرار در نقطه‌ی مرکزی استفاده گردید. تمام آزمون‌ها در 3 تکرار انجام شد. با کاربرد آنالیز رگرسیون شاخص‌های اندازه‌گیری شده در قالب یک چند جمله‌ای درجه دوم بر طبق معادله زیر مدل سازی شدند.

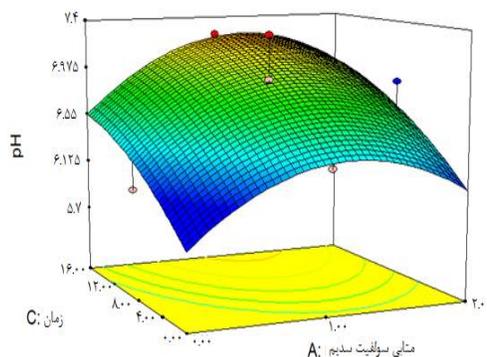
جدول 2- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان pH در قارچ دکمه‌ای

P P>F	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	منبع
0/0011	8/70	0/33	3/00	9	مدل
0/0160	8/37	0/32	0/32	1	A
0/5852	0/32	0/012	0/012	1	B
<0/0001	45/56	1/74	1/74	1	C
0/9578	2/938E-003	1/125E-004	1/125E-004	1	AB
0/6950	0/16	6/235E-003	6/235E-003	1	AC
0/3167	1/11	0/043	0/043	1	BC
0/0031	14/98	0/57	0/57	1	A2
0/0079	10/95	0/42	0/42	1	B2
0/2961	1/22	0/047	0/047	1	C2

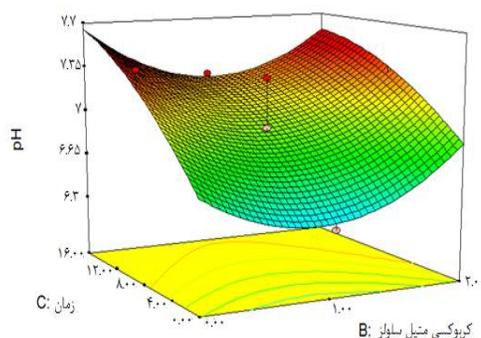
C.V% =2/86 ,R² =0/8867 , R²adj =0/7848



شکل 1- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای pH قارچ دکمه‌ای



شکل 2- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای pH قارچ دکمه‌ای



شکل 3- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای pH قارچ دکمه‌ای

2/71 درصد برای نمونه حاوی 100 درصد CO₂ پس از 16 روز نگهداری ثبت شد. حداقل کاهش وزن، 1/7 درصد پس از 16 روز ذخیره‌سازی در نمونه حاوی پوشش آلژینات (3%) + 100 درصد O₂ ثبت گردید.

$$\text{Weight loss} = -0.089552 + 0.62567 * A - 0.46479 * B + 2.90213 * C - 0.082083 * A * B - 0.055990 * A * C - 0.044010 * B * C - 0.28367 * A^2 + 0.28965 * B^2 - 0.084537 * C^2 \quad (7)$$

مواد جامد محلول

هنگامی که محتوای مواد جامد محلول در روز آغاز نگهداری نسبت به روز پایانی دوره نگهداری مقایسه شد، همه قارچ‌ها یک افزایش بریکس را نشان دادند که البته این افزایش در تیمارهای مختلف قدری متفاوت بود. دلیل این افزایش تدریجی بریکس، کاهش تدریجی مقدار آب موجود در قارچ است که با گذشت زمان و طی دوره نگهداری اتفاق می‌افتد و باعث می‌شود مواد جامد محلول آن در میزان آب کمتری قرار داشته باشند در نتیجه بریکس غلظت بیشتری پیدا می‌کند (قربانی و همکاران، 1395). نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان بریکس در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R² (0/9487) و ضریب تبیین شده R²_{adj} (0/9026) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد در نمونه‌ی پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو تیمار کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم داری حداکثر مقدار مواد جامد محلول بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. بعد از آن نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار مواد جامد محلول بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. کمترین میزان مواد جامد محلول در نمونه پوشش داده شده با 2 درصد کربوکسی متیل سلولز در 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

افت وزنی

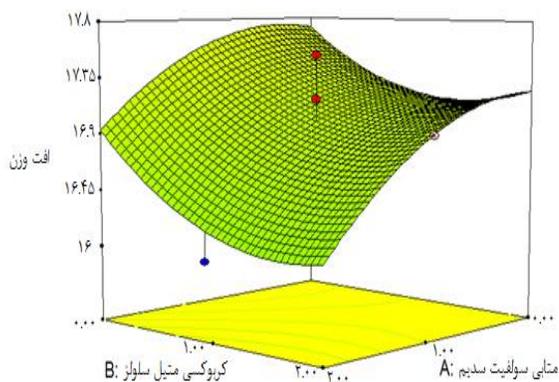
کاهش وزن یک فرایند مهم فیزیولوژیکی است و یکی از مهمترین شاخص‌های کیفیت قارچ تازه به‌شمار می‌آید. خسارات کاهش وزن میوه به‌طور عمده با تنفس و تبخیر آب در اطراف پوست میوه ارتباط دارد. همچنین کاهش در نتیجه از دست‌دهی آب از سطح میوه می‌باشد و از نظر ظاهری محصول دچار پوسیدگی و چروکیدگی می‌شود (سیاهرودی و همکاران، 1394؛ خضری و همکاران، 1394).

نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان افت وزن در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R² (0/9980) و ضریب تبیین شده R²_{adj} (0/9980) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد بیشترین میزان افت وزن در نمونه شاهد بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. کمترین افت وزن در نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. سیاهرودی و همکاران (1394) اثر پوشش ژل آلونته ورا به‌همراه عصاره گیاه گزنه بر روی کاهش وزن قارچ در طول دوره نگهداری بررسی کردند. کمترین کاهش وزن مربوط به پوشش‌دهی قارچ در پوشش خوراکی ژل آلونته‌ورا و 1/5 درصد عصاره گزنه حاوی اسید سیتریک و کلرید کلسیم (E) (1/87) بود. بیشترین مقدار کاهش وزن مربوط به نمونه قارچ شاهد (3/1) بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد. کاهش وزن با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌گونه‌ای که میانگین در تمامی زمان‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند که پس از 12 روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری در میزان کاهش وزن پوشش‌های مختلف مشاهده گردید.

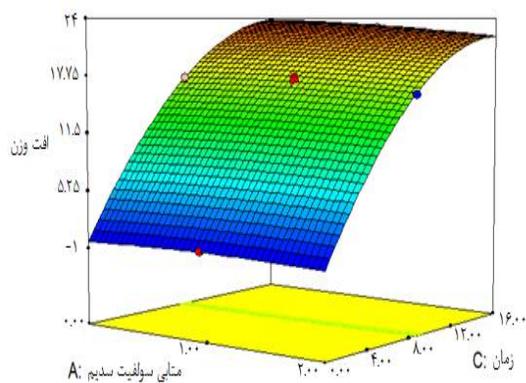
جیانگ (2013) با پوشش دادن قارچ، کاهش وزن برای نمونه‌ها را در طی 16 روز نگهداری مشاهده کرد و به این نتیجه رسید که کاهش وزن در طول ذخیره‌سازی زیر 3 درصد بود و حداکثر کاهش وزن از

جدول 2- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان افت وزن در قارچ دکمه‌ای

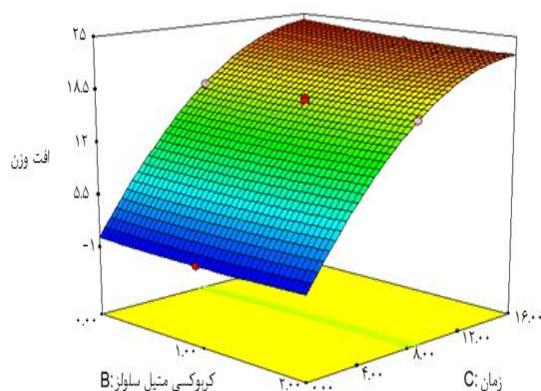
منبع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P P>F
مدل	9	1479/14	166/35	1044/20	<0/0001
A	1	2/22	2/22	13/96	0/0039
B	1	1/02	1/02	6/41	0/0297
C	1	1344/75	1344/75	8441/18	<0/0001
AB	1	0/054	0/054	0/34	0/5737
AC	1	1/61	1/61	10/08	0/0099
BC	1	0/99	0/99	6/23	0/0317
A ²	1	0/22	0/22	1/39	0/2658
B ²	1	0/23	0/23	1/45	0/2565
C ²	1	80/50	80/50	505/30	<0/0001
		C.V% =2/79		R²=0/9989	
				R²_{adj} =0/9980	



شکل 4- تأثیر کربوکسی متیل سلولز و متابلی سولفیت سدیم بر محتوای افت وزن قارچ دکمه‌ای



شکل 5- تأثیر متابلی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای افت وزن قارچ دکمه‌ای



شکل 6- تاثیر کربوکسی متیل سلولوز در طول دوره نگهداری بر محتوای افت وزنی قارچ دکمه‌ای

$$003*B*C - 0.15988*A^2 + 0.084621*B^2 - 2.76634E-003*C^2 \quad (8)$$

میزان قهوه‌ای شدن

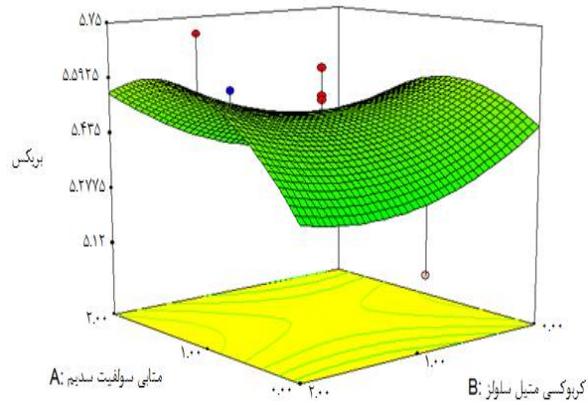
با گذشت زمان رنگ سطح کلاهک قارچ دکمه‌ای از سفید به قهوه‌ای تغییر می‌کند که دلیل آن افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و ایجاد لکه‌های قهوه‌ای روی سطح کلاهک قارچ است (سیاهرودی و همکاران، 1394؛ صبوری شکفته و همکاران، 1393). نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان قهوه‌ای شدن در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان دهنده معنی داری مدل است. ضریب تبیین R^2 (0/9594) و ضریب تبیین شده R^2_{adj} (0/9228) تایید می‌کند که مدل معنی دار است.

طبق تحقیقی که توسط ایسا در سال 2007 انجام شد، اسیدیتته کل و مواد جامد محلول در قارچ پوشش داده شده با کیتوزان بالاترین مقدار را نسبت به نمونه شاهد داشت و با افزایش مقدار کیتوزان منجر به افزایش در مواد جامد محلول و اسیدیتته کل و نسبت مواد جامد محلول به کل اسیدیتته شد. جیانگ و همکاران (2012) میزان مواد جامد محلول را در قارچ پوشش داده شده با کمپلکس کیتوزان-گلوکز ذخیره شده تحت شرایط سرد مورد بررسی قرار دادند. میزان مواد جامد محلول در قارچ شاهد پس از 4 روز ذخیره سازی افزایش یافت. درحالی که در قارچ پوشش داده شده در یک دوره مشابه افزایش کمی داشت. پایین‌ترین سطح میزان مواد جامد محلول در قارچ پوشش داده شده با کیتوزان در پایان دوره ذخیره‌سازی ثبت شد.

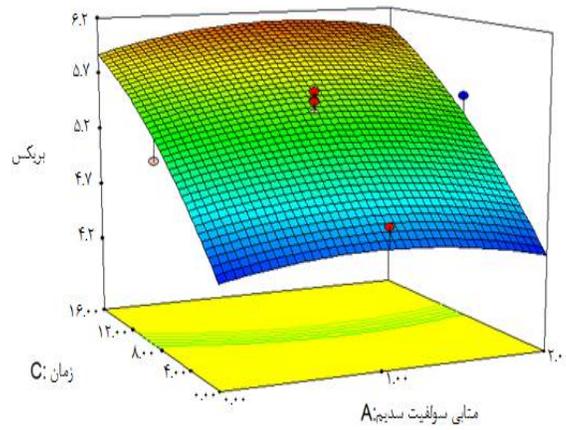
$$\text{Brix} = 4.56235 - 0.21436*A - 0.25724*B + 0.13595*C + 0.090000*A*B + 5.52083E-003*A*C + 1.04167E-$$

جدول 3- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان مواد جامد محلول در قارچ دکمه‌ای

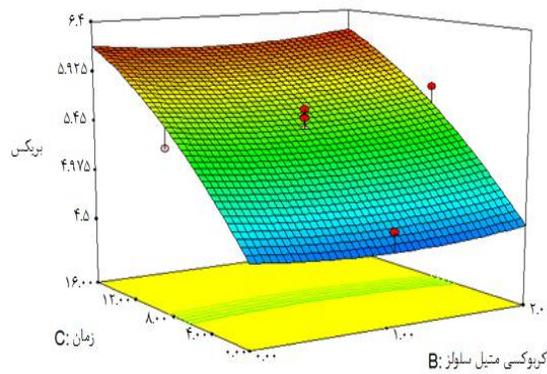
منبع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P
					P>F
مدل	9	6/59	0/73	20/57	<0/0001
A	1	8/275E-003	8/275E-003	0/23	0/6400
B	1	1/068E-003	1/068E-003	0/030	0/8659
C	1	6/18	6/18	173/60	<0/0001
AB	1	0/065	0/065	1/82	0/2070
AC	1	0/016	0/016	0/44	0/5228
BC	1	5/556E-004	5/556E-004	0/016	0/9030
A ²	1	0/070	0/070	1/98	0/1902
B ²	1	0/020	0/020	0/55	0/4741
C ²	1	0/086	0/086	2/42	0/1507
		$R^2 = 0/9487$		$C.V\% = 3/51$	
				$R^2_{adj} = 0/9026$	



شکل 7- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفات سدیم بر محتوای مواد جامد محلول قارچ دکمه‌ای



شکل 8- تاثیر متابی سولفات سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای مواد جامد محلول قارچ دکمه‌ای



شکل 9- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای مواد جامد محلول قارچ دکمه‌ای

متناسب بود و آسیب به کیفیت قارچ را از درمان به CO₂ بالا نشان داد پس از 12 روز ذخیره‌سازی قارچ تیمار شده با 12 تا 24 ساعت CO₂ مقدار BI کمتری را نشان داد. بعد از 16 روز ذخیره‌سازی BI در قارچ شاهد به 35/17 رسید در حالی که BI در قارچ تیمار شده با 12 تا 24 ساعت CO₂ به ترتیب 30/21 و 32/85 رسید BI در قارچ تیمار شده با 48 ساعت CO₂ مقدار بالاتری از قارچ شاهد در طول ذخیره سازی داشت.

$$BI = 19.27574 + 4.45352*A - 13.89679*B - 0.65637*C - 2.54935 *A*B - 0.046143*A*C + 0.27507*B*C + 1.09119*A^2 + 3.09124*B^2 + 0.082548*C^2 \quad (9)$$

همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد متابی سولفیت سدیم و بعد از آن نمونه شاهد بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین مقدار قهوه‌ای شدن بودند. نمونه پوشش داده شده با 2 درصد کربوکسی متیل سلولز و نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای کمترین میزان قهوه‌ای شدن بودند. طبق تحقیق لین و همکاران (2017) انجام دادند در طول 4 روز اول قارچ تیمار شده با CO₂ بالا مقدار BI بالاتری نسبت به شاهد داشت و BI با زمان درمان

جدول 4- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان قهوه‌ای شدن در قارچ دکمه‌ای

منع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P
					P>F
مدل	9	1736/99	193/00	26/22	<0/0001
A	1	138/19	138/19	18/78	0/0015
B	1	650/14	650/14	88/34	<0/0001
C	1	510/73	510/73	69/40	<0/0001
AB	1	51/99	51/99	7/06	0/0240
AC	1	1/09	1/09	0/15	0/7084
BC	1	38/74	38/74	5/26	0/0447
A ²	1	3/27	3/27	0/44	0/5199
B ²	1	26/28	26/28	3/57	0/0881
C ²	1	76/75	76/75	10/43	0/0090
		, R ² _{adj} = 0/9228		C.V% = 15/02	
		, R ² = 0/9594			

فعالیت‌های آنزیمی شامل واکنش‌های قهوه‌ای شدن و سایر واکنش‌های مسئول کاهش کیفیت محصول باشد (سیاه‌رودی و همکاران، 1394). نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان a در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R² (0/9536) و ضریب تبیین تعیین شده R²_{adj} (0/9119) تایید می‌کند که مدل بسیار معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با 2 درصد متابی سولفیت سدیم و نمونه شاهد بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین مقدار قرمزی بودند. نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دارای کمترین مقدار قرمزی بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود.

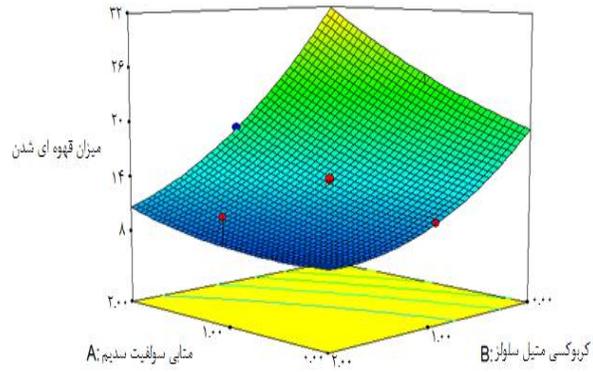
$$A = 5.02639 - 1.26743*A + 0.24827*B + 0.039845*C + 0.096637*A*B + 0.042610*A*C - 0.030371*B*C + 1.71400*A^2 - 0.74021*B^2 - 0.013259*C^2 \quad (11)$$

آزمایشات ارگانولپتیکی رنگ

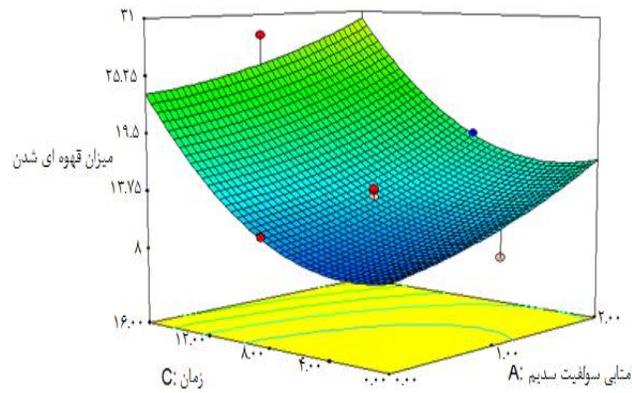
نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان L در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل 0/0001 بود که نشان دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R² (0/9295) و ضریب تبیین تعیین شده R²_{adj} (0/8661) تایید می‌کند که مدل بسیار معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با 2 درصد متابی سولفیت سدیم و نمونه شاهد دارای کمترین مقدار روشنایی بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بودند. نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای کاهش کمتری در مقدار روشنایی بود.

$$L = 70.96369 + 3.44565*A + 3.63015*B + 0.23652*C + 0.28770*A*B - 0.23057*A*C + 0.21338*B*C + 0.28012*A^2 - 0.79550*B^2 - 0.058768*C^2 \quad (10)$$

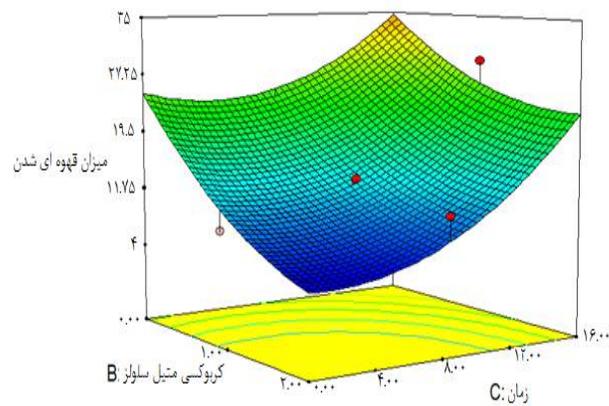
با گذشت زمان شاخص a برای همه تیمارها افزایش یافت این افزایش ممکن است به دلیل افزایش در سرعت تنفس و تحریک



شکل 10- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای



شکل 11- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای

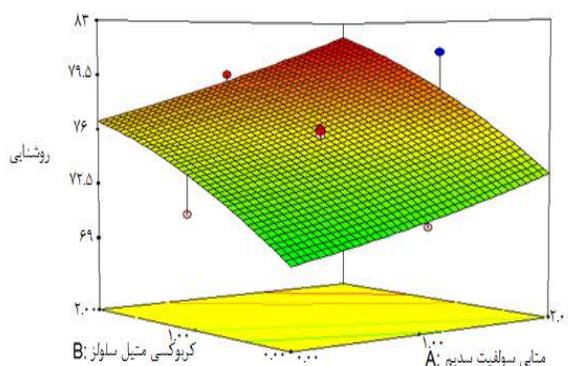


شکل 12- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای

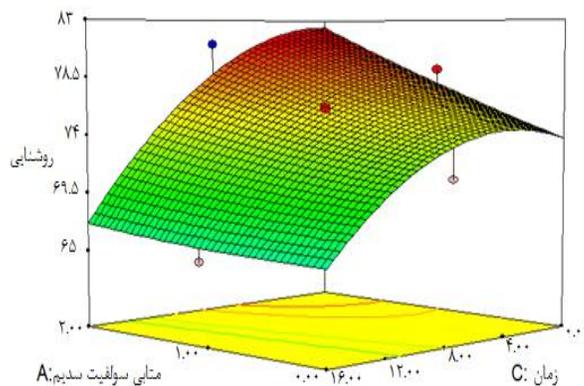
جدول 5- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان روشنایی در قارچ دکمه‌ای

منبع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P
مدل	9	691/14	76/79	14/65	0/0001
A	1	59/98	59/98	11/44	0/0070
B	1	162/72	162/72	31/05	0/0002
C	1	322/67	322/67	63/47	<0/0001
AB	1	0/66	0/66	0/13	0/7296
AC	1	27/22	27/22	5/19	0/0459
BC	1	23/31	23/31	4/45	0/0611
A ²	1	0/22	0/22	0/041	0/8432
B ²	1	1/74	1/74	0/33	0/5772
C ²	1	38/90	38/90	7/42	0/0214

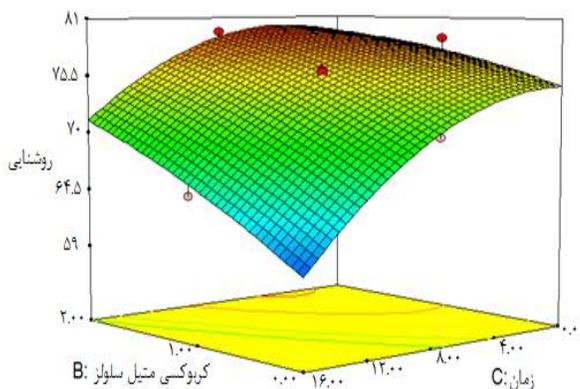
C.V% = 3/11 ,R² = 0/9295 ,R²_{adj} = 0/8661



شکل 13- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابیت سدیم بر محتوای روشنایی قارچ دکمه‌ای



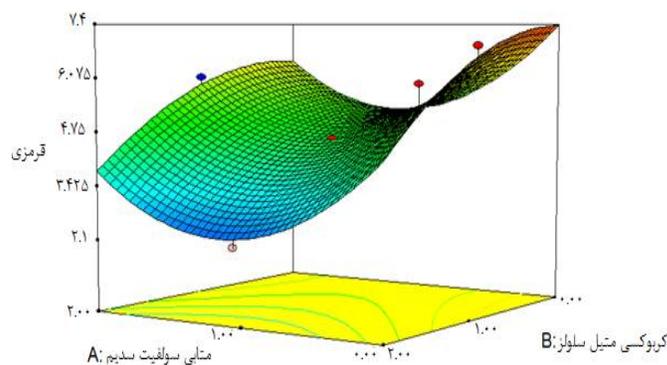
شکل 14- تاثیر متابیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای روشنایی قارچ دکمه‌ای



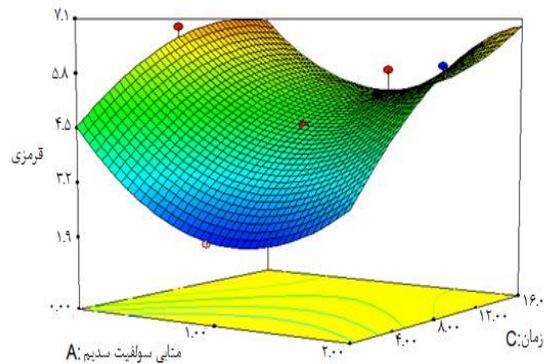
شکل 15- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای روشنایی قارچ دکمه‌ای

جدول 6- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان قرمزی در قارچ دکمه‌ای

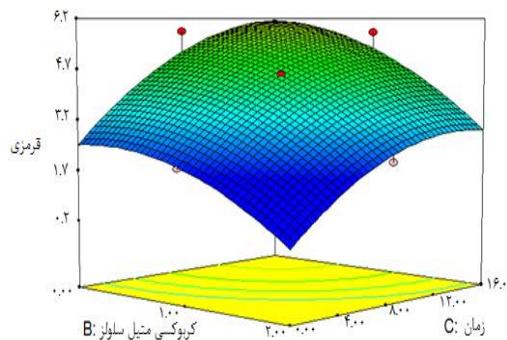
منبع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P	P>F
مدل	9	55/78	6/20	22/86	<0/0001	<0/0001
A	1	1/62	1/62	5/96	0/0348	0/0348
B	1	19/00	19/00	70/08	<0/0001	<0/0001
C	1	25/23	25/23	93/04	<0/0001	<0/0001
AB	1	0/075	0/075	0/28	0/6111	0/6111
AC	1	0/93	0/93	3/43	0/0938	0/0938
BC	1	0/47	0/47	1/74	0/2163	0/2163
A ²	1	8/08	8/08	29/79	0/0003	0/0003
B ²	1	1/51	1/51	5/56	0/0401	0/0401
C ²	1	1/98	1/98	7/30	0/0222	0/0222
C.V.% = 11/38 ,R ² = 0/9536 ,Adj-R ² = 0/9119						



شکل 16- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای قرمزی قارچ دکمه‌ای



شکل 17- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای قرمزی قارچ دکمه‌ای



شکل 18- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای قرمزی قارچ دکمه‌ای

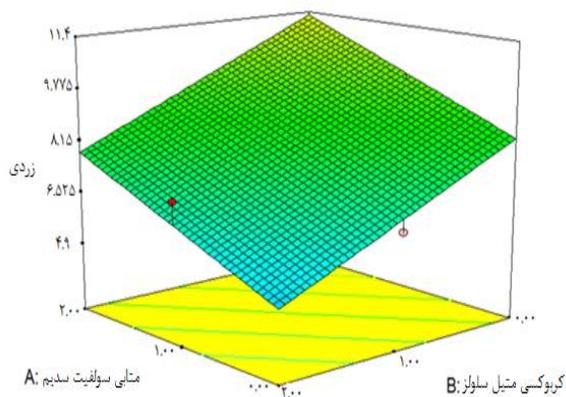
متیل سلولز دارای کمترین مقدار زردی بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتیگراد بود. خضرابی و همکاران (1394) در تحقیقی تاثیر پوشش کیتوزان-اسانس لیمو بر رنگ قارچ دکمه‌ای کامل را بررسی کردند. میزان L نسبت به روز نخست کاهش یافت پارامتر b و a روند افزایشی داشتند بدین معنا که با گذر زمان بر قرمزی و زردی محصول افزوده شد و از سبزی و ابی بودن آن کم گردید.

$$B = 5.38516 + 1.43776 * A - 1.74402 * B + 0.38023 * C \quad (12)$$

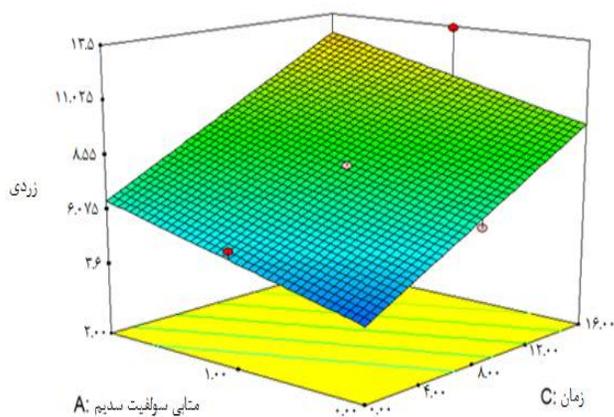
نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان b در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان دهنده معنی داری مدل است. ضریب تبیین R^2 (0/7878) و ضریب تبیین شده R^2_{adj} (0/7481) تایید می کند که مدل بسیار معنی دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می گردد نمونه پوشش داده شده با 2 درصد متابی سولفیت سدیم و نمونه پوشش داده شده با 1 درصد کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم و نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار زردی بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی گراد بودند. نمونه پوشش داده شده با 2 درصد کربوکسی

جدول 7- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان زردی در قارچ دکمه‌ای

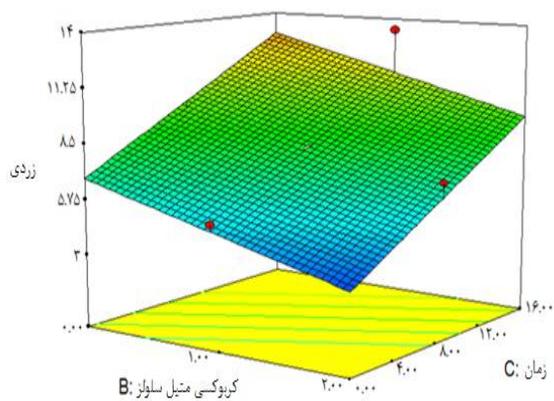
منبع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P > F
مدل	3	143/62	47/87	19/81	<0/0001
A	1	20/67	20/67	8/55	0/0099
B	1	30/42	30/42	12/58	0/0027
C	1	92/53	92/53	38/28	<0/0001
		$R^2 = 0/7878$		C.V% = 19/15	
				$R^2_{adj} = 0/7481$	



شکل 19- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای زردی قارچ دکمه‌ای



شکل 20- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای زردی قارچ دکمه‌ای



شکل 21- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای زردی قارچ دکمه‌ای

و افزایش فعالیت‌های آنزیمی در نمونه‌ی بدون پوشش‌های دیگری باشد. با گذشت زمان افزایش فعالیت‌های آنزیمی در نمونه بدون پوشش اختلاف میان آن با تیمارهای پوشش داده شده بیشتر شد به طوری که در روزهای 10 و 15 نگهداری اختلاف معناداری میان تیمار با پوشش WPC و سایر پوشش‌ها مشاهده شد اما در 15 روز تفاوت معناداری میان این پوشش و پوشش‌های مختلف مشاهده نشد.

$$\Delta E = 28.78771 - 8.01114 * A - 1.34145 * B - 0.12311 * C + 0.21447 * A * B + 0.21473 * A * C - 0.13710 * B * C + 1.89861 * A^2 - 1.11479 * B^2 + 0.053830 * C^2 \quad (13)$$

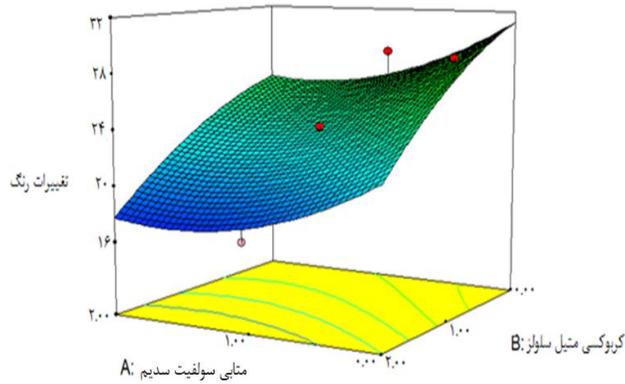
بافت (سفتی)

طی نگهداری قارچ بافت آن نرم و دچار آسیب دیدگی می‌شود و دلیل کاهش استحکام بافت ممکن است فعالیت آنزیمی و تخریب دیواره سلول‌ها، از بین رفتن بافت پارانشیم و حل شدن پکتین در مایع داخل سلولی باشد (قربانی و همکاران، 1395). نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای بافت در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R^2 (0/9911) و ضریب تبیین تعیین شده R^2_{adj} (0/9831) تایید می‌کند که مدل بسیار معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولوز و متابی سولفیت سدیم بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین سفتی بود.

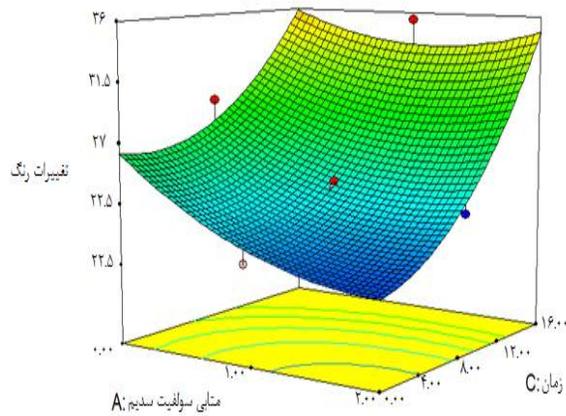
نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان ΔE در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R^2 (0/9562) و ضریب تبیین تعیین شده R^2_{adj} (0/9169) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 22 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با 2 درصد متابی سولفیت سدیم و نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار تغییرات رنگ بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بودند. نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولوز و متابی سولفیت سدیم دارای کمترین تغییرات رنگ بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. صبوری شکفته و همکاران (1393) با استفاده از شستشو با اسید آسکوربیک و پوشش‌دهی با پوشش‌های خوراکی در قارچ دکمه‌ای با بررسی تغییرات کلی رنگ (ΔE) قارچ‌ها در طی 15 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد نشان دادند که تغییرات رنگ در هر 5 روز تغییرات معناداری در سطح (0/05) داشت که این امر به کاهش رطوبت و قهوه‌ای شدن آنزیمی محصول در طی مدت زمان نگهداری مرتبط است. شستشو با محلول اسید آسکوربیک و پوشش‌های خوراکی می‌تواند باعث کاهش معنی‌داری در سطح (0/05) در میزان تغییرات رنگی قارچ در طی 15 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد شد. در 5 روز نخست نگهداری میان تمام پوشش‌های خوراکی به جز ایزوله پروتئین سویا با نمونه فاقد پوشش اختلاف معنی‌داری در میزان ΔE قارچ‌ها مشاهده شد که عدم اختلاف میان شاهد و پوشش SPI می‌تواند ناشی از تیره‌تر بودن رنگ خود پوشش نسبت به پوشش‌های دیگر باشد با گذشت زمان

جدول 8- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان تغییرات رنگ در قارچ دکمه‌ای

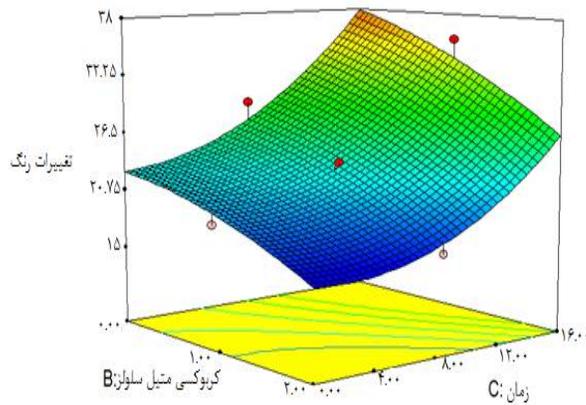
منبع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P
					P>F
مدل	9	796/99	88/55	24/28	<0/0001
A	1	52/06	52/06	14/27	0/0036
B	1	198/32	198/32	54/37	<0/0001
C	1	425/93	425/93	116/78	<0/0001
AB	1	0/37	0/37	0/10	0/7573
AC	1	23/61	23/61	6/47	0/0292
BC	1	9/62	9/62	2/62	0/1354
A ²	1	9/91	9/91	2/72	0/1302
B ²	1	3/42	3/42	0/94	0/3559
C ²	1	32/64	32/64	8/95	0/0135
C.V.% = 7/45, R ² = 0/9562, R ² _{adj} = 0/9169					



شکل 22- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای تغییرات رنگ قارچ دکمه‌ای



شکل 23- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای تغییرات رنگ قارچ دکمه‌ای



شکل 24- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای تغییرات رنگ قارچ دکمه‌ای

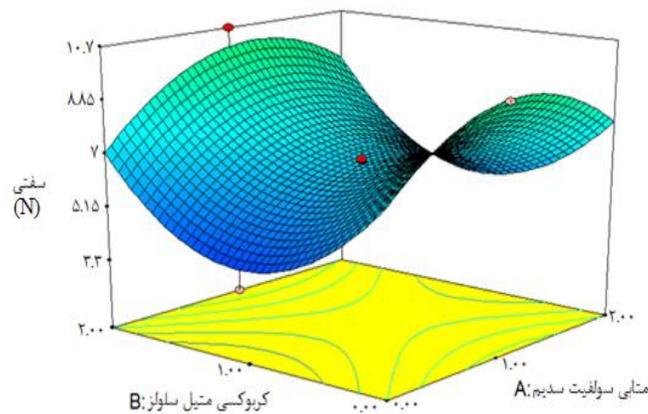
نیز افزایش یافت به طوری که غلظت صفر و دو درصد دارای کمترین و بیشترین سفتی بودند با گذشت زمان سفتی کاهش یافت.

$$\text{Hardness} = 22.01202 + 3.64365 * A - 6.54968 * B - 2.50617 * C + 0.25375 * A * B + 0.097344 * A * C + 0.056094 * B * C - 2.00641 * A^2 + 3.06026 * B^2 + 0.079379 * C^2$$
(14)

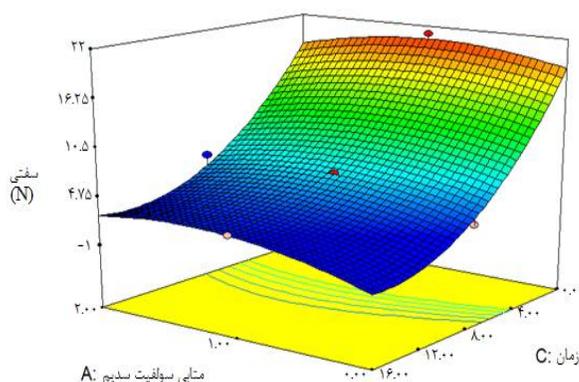
جیانگ و همکاران (2013) مشاهده کردند که اختلاط نانو ذرات نقره به آلژینات اثر مثبت و قابل توجهی در استحکام داشت. نرم شدن بافت در نمونه شاهد مشاهده شد اما مهار توسط پوشش آلژینات/نانو نقره با توجه به فعالیت ضدباکتری بالا مشاهده گردید. محمدی و همکاران (1392) اثر پوشش‌دهی قارچ دکمه‌ای با صمغ عربی را بر بافت آن مورد بررسی قرار دادند. سفتی بافت با افزایش غلظت صمغ

جدول 9- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان سفتی در قارچ دکمه‌ای

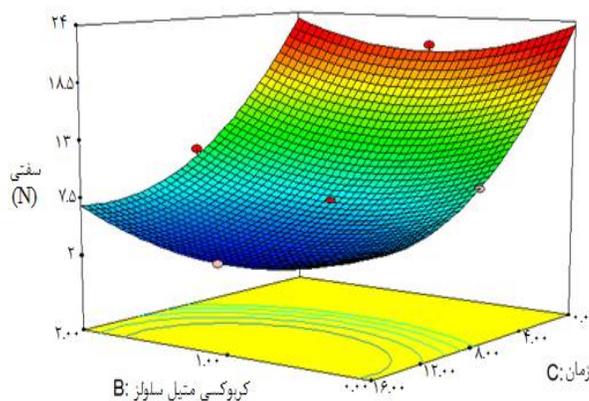
P P>F	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	منبع
<0/0001	123/59	105/95	953/59	9	مدل
0/0469	5/13	4/40	4/40	1	A
0/3725	0/87	0/75	0/75	1	B
<0/0001	875/02	750/19	750/19	1	C
0/4562	0/60	0/52	0/52	1	AB
0/0387	5/66	4/85	4/85	1	AC
0/2004	1/88	1/61	1/61	1	BC
0/0049	12/91	11/07	11/07	1	A ²
0/0003	30/04	25/75	25/75	1	B ²
<0/0001	82/79	70/97	70/97	1	C ²
C.V.% = 9/51		,R ² = 0/9911		, R ² _{adj} = 0/9831	



شکل 25- تاثیر کربوکسی متیل سلولوز و متابی سولفیت سدیم بر سفتی قارچ دکمه‌ای



شکل 26- تأثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر سفتی قارچ دکمه‌ای



شکل 27- تأثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر سفتی قارچ دکمه‌ای

تأثیر آلوتهورا را به‌عنوان یک نگهدارنده طبیعی بر ویژگی‌های میکروبی قارچ دکمه‌ای بررسی کردند نتایج حاصل از شمارش کلنی‌ها در طول دوره نشان داد که نمونه‌های تحت تیمار به‌وسیله آلوتهورا، دارای باریک‌تری نسبت به گروه شاهد بودند کشت انجام شده در روز دوم و چهارم حاکی از وجود بار میکروبی کمتر در قارچ‌های غوطه‌ور شده در محلول حاوی آلوتهورا بود اما اختلاف میان گروه تیمار شده و گروه شاهد بسیار جزئی بود در طی روزهای ششم و هشتم اختلاف میان دو گروه رفته رفته بیشتر شد و در کشت روز دهم این اختلاف به صورت معنی‌داری بروز کرد.

$$\text{Total count} = 29.50833 + 107.23333 * A + 191.96667 * B + 127.91042 * C - 199.37500 * A * B - 24.95313 * A * C - 22.49479 * B * C \quad (15)$$

آزمایشات میکروبی

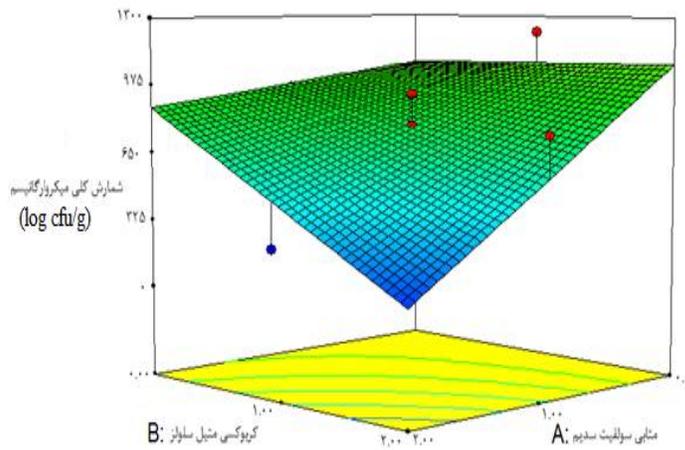
شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R^2 (0/9278) و ضریب تبیین تعدیل شده R^2_{adj} (0/8945) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 28 مشاهده می‌گردد نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار باکتری کل بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دارای کمترین مقدار باکتری کل بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. درویشی و همکاران (1394)

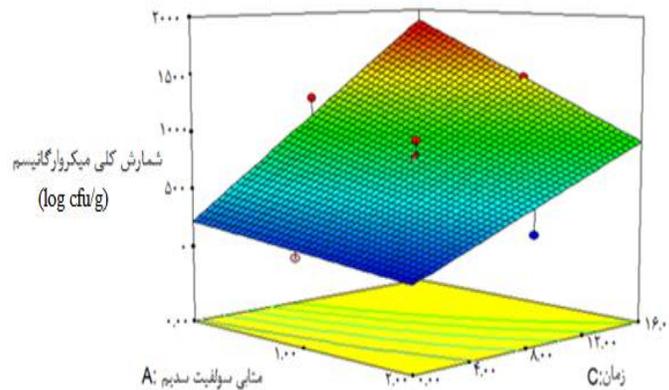
جدول 10- نتایج تجزیه آنالیز واریانس شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در قارچ دکمه‌ای

P P>F	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	منبع
<0/0001	27/85	1/040E+006	6/242E+006	6	مدل
0/0004	22/79	8/513E+005	8/513E+005	1	A
0/0090	9/40	3/511E+005	3/511E+005	1	B
<0/0001	110/91	4/143E+006	4/143E+006	1	C
0/0120	8/51	3/180E+005	3/180E+005	1	AB
0/0119	8/53	3/188E+005	3/188E+005	1	AC
0/0207	6/93	2/591E+005	2/591E+005	1	BC

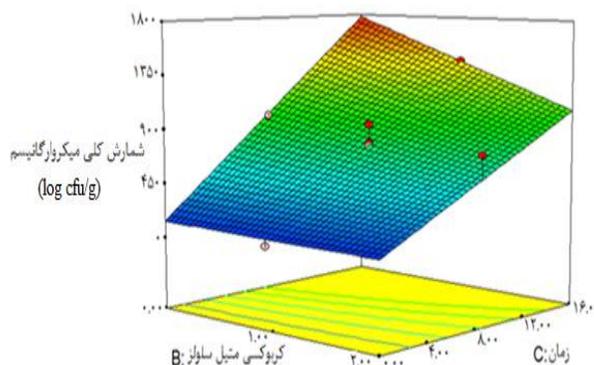
C.V% = 25/00 ,R² = 0/9278 ,R²_{adj} = 0/8945



شکل 28- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در قارچ دکمه‌ای



شکل 29- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در قارچ دکمه‌ای



شکل 30- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها قارچ دکمه‌ای

شمارش کپک و مخمر نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای شمارش کپک و مخمر در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل 0/0003 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین R^2 (0/9155) و ضریب تبیین شده R^2_{adj} (0/8394) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 31 مشاهده می‌گردد نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار کپک و مخمر بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دارای کمترین مقدار کپک و مخمر بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. در تحقیقی جیانگ و همکاران (2013) پاسخ فیزیکیوشیمیایی و ویژگی‌های میکروبی اندام قارچ را به پوشش صمغ عربی با ناتامایسین

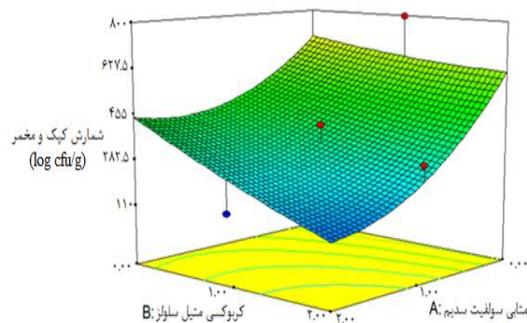
شمارش کپک و مخمر

و پوشش ناتامایسین (NA) در کاهش مخمرها و تعداد کپک‌ها نسبت به نمونه GA (صمغ عربی) و شاهد موثرتر دانستند. پوشش GANA و NA میزان کپک و مخمرها را در مدت 8 روز به زیر تشخیص محدودیت (10 CFU/g) کاهش دادند و بهبودی در نقاط زمان بعد مشاهده شد در قارچ شاهد لکه‌های کوچک قهوه‌ای در روز 4 نمایش داده شد و این لکه‌ها تا روز 8 به مناطق تاریک توسعه یافت که مشخصه سودوموناس بود در نمونه GANA حتی در روز 12 این ویژگی‌های تجزیه میکروبی نمایان نشد.

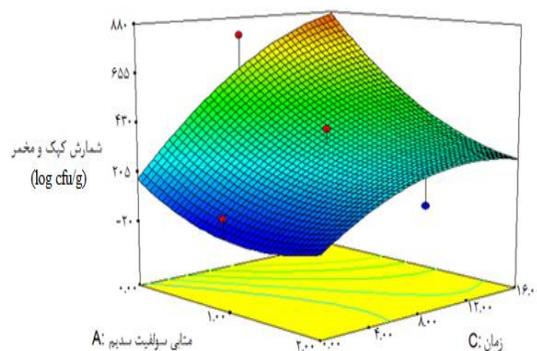
$$\text{Yeast} = 145.64773 - 230.98030 * A + 15.73636 * B + 82.42121 * C - 60.79167 * A * B - 14.14063 * A * C - 10.58854 * B * C + 110.34848 * A^2 + 13.68182 * B^2 - 1.77320 * C^2 \quad (16)$$

جدول 11- نتایج تجزیه آنالیز واریانس شمارش کپک و مخمر در قارچ دکمه‌ای

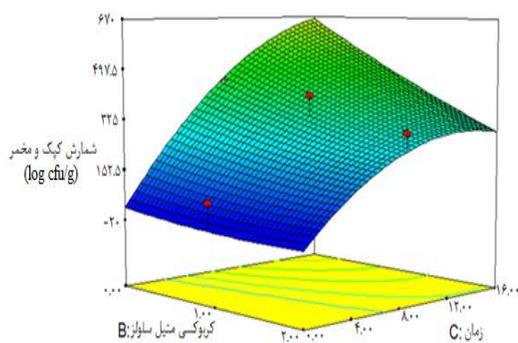
P	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	منبع
P>F					
0/0003	12/04	1/372E+005	1/235E+006	9	مدل
0/0003	29/77	3/393E+005	3/393E+005	1	A
0/0126	9/20	1/049E+005	1/049E+005	1	B
<0/0001	48/28	5/502E+005	5/502E+005	1	C
0/1383	2/59	29565/01	29565/01	1	AB
0/0134	8/98	1/024E+005	1/024E+005	1	AC
0/0486	5/04	57404/01	57404/01	1	BC
0/1173	2/94	33486/17	33486/17	1	A ²
0/8360	0/045	514/78	514/78	1	B ²
0/1084	3/11	35416/73	35416/73	1	C ²
C.V% = 30/77		,R ² = 0/9155		,Adj-R ² = 0/8394	



شکل 31- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر شمارش کپک و مخمر قارچ دکمه‌ای



شکل 32- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر شمارش کپک و مخمر قارچ دکمه‌ای



شکل 33- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر شمارش کپک و مخمر قارچ دکمه‌ای

پوشش‌دهی در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم اثرات مثبتی بر خصوصیات ارگانولپتیکی و شیمیایی و میکروبی داشت و استفاده از این پوشش برای افزایش ماندگاری قارچ توصیه می‌شود.

نتیجه گیری

به دلیل فسادپذیری و قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای، نگهداری آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از روش‌های نگهداری قارچ دکمه‌ای پوشش‌دهی به‌وسیله پوشش‌های خوراکی می‌باشد. کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دو ترکیب پیشنهادی جهت

منابع

- پاسبان، آ. محبی، م. پورآزنگ، ه. وریدی، م. 1392. مطالعه اثر اسیدسیتربیک، اسیدآسکوربیک و سدیم‌متابی‌سولفیت بر رنگ و خصوصیات کف‌زایی پوره‌ی قارچ‌دکمه‌ای (*Agaricus Bisporus*)، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد 9، شماره 2، ص 138-146.
- خضری، م. جهادی، م. فاضل، م. علامه، آ. 1394. بررسی تأثیر پوشش کیتوزان-اسانس لیمو بر ماندگاری قارچ‌دکمه‌ای (آگاریکوس بیسپوروس) کامل، مجله علوم غذایی و تغذیه، دوره 13، شماره 1، صفحه 35-46.
- درویشی، ا. فضل‌آرا، ع. اصلاحی، م. 1394. تأثیر آلونه‌ورا بعنوان یک نگهدارنده طبیعی بر ویژگی‌های میکروبی قارچ دکمه‌ای، نشریه‌ی نوآوری در علوم و فناوری غذایی، دوره 7، شماره 1، صفحه 85-95.
- زاهدی، ی. صداقت، ن. 1390. افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) از طریق شستشوی اسیدی و پوشش‌دهی با بیوپلیمرها، بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.
- سیاه‌رودی، س. آریایی، پ. فتاحی، ا. 1394. اثر پوشش ژل آلونه‌ورا به همراه عصاره گزنه بر روی عمر نگهداری قارچ‌خوراکی دکمه‌ای در شرایط سرد، کنفرانس ملی دستاوردهای فن آوران علوم و صنایع غذایی ایران، دوره 1.
- صبوری شکفته، م. احمدزاده قویدل، ر. قیافه داوودی، م. 1393. افزایش ماندگاری قارچ دکمه ای خوراکی با استفاده از شستشوی با اسید اسکوربیک و پوشش دهی با پوشش‌های خوراکی، سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی.
- قربانی، آ. مقصدلو، ی. اعلمی، م. قربانی، م. صادقی، ع. 1395. بررسی تأثیر پوشش خوراکی موسیلاژ دانه شاهی بر ماندگاری قارچ‌دکمه‌ای، فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، سال سوم، شماره 12، صفحه 89-96.
- قنبرزاده، ب. سینجلی، س. قیاسی فر، ش. 1390. بررسی اثرات ضد قارچی پوشش‌های خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولز حاوی سوربات پتاسیم بر گونه‌های تولید کننده آفاتوکسین اسپرژیلوس در پسته. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره 32(2)، دوره 8، ص 43-50.
- محمد حسینیان، م. صداقت، ن. 1394. بررسی اثر پوشش‌های خوراکی (کیتوزان و متابی سولفیت سدیم) و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده بر میزان ویتامین ث و راندمان سرخ کردن سیب زمینی برش خورده تازه، اولین کنفرانس ملی دستاوردهای فن آوران علوم و صنایع غذایی ایران، ص 230-234.
- محمدی، ش. قنبرزاده، ب. صوتی، م. قیاسی فر، ش. جلالی، س. 1391. کاربرد پوشش‌های فعال خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولز حاوی اسید اولئیک و ترکیبات ضد میکروبی برای بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری تخم مرغ، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی، جلد 8، شماره 2، ص 235-244.
- محمدی، م. فتاحی، س. صیدی، م. میرزایی، م. ساجدی نیا. 1392. اثر پوشش دهی با صمغ عربی بر خصوصیات کیفی و ارگانولپتیکی قارچ دکمه ای (*Agaricus bisporus* L.)، اولین همایش ملی الکترونیک "مباحث نوین در علوم باغبانی"، ص 199-204.
- Eissa, H.A. (2007). Effect of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut mushroom. *J. Food Qual.*, 623-30:645.
- Jiang, N., Liu, C., Li, D., Zhou, Y. (2015). Effect of blanching on the dielectric properties and microwave vacuum drying behavior of *Agaricus bisporus* slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.
- Jiang, T. (2013). Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 91-97.
- Jiang, T., Feng, L., Li, J. (2012). Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan–glucose complex coating under cold storage. *Food Chemistry*, 131, 780-786.
- Jiang, T., feng, L., Zheng, X., Li, J. (2013). Physicochemical responses and microbial characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) to gum arabic coating enriched with natamycin during storage, *Food Chemistry*, 138, 1992-1997.

- Lagnika, C., Zhang, M., Joseph Mothibe., K. (2013). Effects of ultrasound and high pressure argon on physico-chemical properties of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage, *Postharvest Biology and Technology*, 82, 87-94.
- Lin, Q., Lu, Y.,Zhang, J., Liu, W., Guan, W., Wang, Z. (2017). Effects of high CO₂ in-package treatment on flavor, quality and antioxidant activity of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage, *Postharvest Biology and Technology*, 123, 112-118.

Effect of Edible Coating Containing Carboxymethyl Cellulose and Sodium Metabisulfite on the Shelf Life of the Button Mushroom

M. Rad, H. Ghafari, Z. Gholami

Received: 2019.06.30

Accepted: 2019.12.17

Introduction: Edible mushrooms are among the most perishable products that begin to lose quality immediately after harvest, and the short shelf-life of these products will cause problems when it comes to the marketing and distribution of these products in a fresh form. Edible coatings are a good tool for prolonging the useful life of foods and increasing their quality without contaminating the environment.

Materials and Methods: In this study, the possibility of increasing the shelf-life of a button mushroom using blanching followed by coating with carboxymethyl cellulose and sodium metabisulfite was studied. Independent variables included concentrations of carboxymethyl cellulose and sodium metabisulfite (0-2%) and storage time up to 16 days at 4 ° C. This experiment was designed on the basis of three-level factors consisting of 6 central points after 0, 4, 8 and 16 days of storage at 4°C. Factors determined on a button mushrooms included pH measurements, weight loss percentage, soluble solids, texture, color, browning level, total microorganisms count as well as mold and yeast count.

Results & Discussion: The results of this study indicated that the sample coated with 2% carboxymethyl cellulose and 2% sodium metabisulfite resulted in an increase in pH level as well as soluble solids. In addition, the slightest color change, weight loss and reduction in tissue stiffness were observed in this sample. The sample coated with 2% carboxymethyl cellulose with 2% sodium metabisulfite had also the lowest total microorganisms count and the count of mold and yeast stored at 4 ° C after 16 days. Based on the results of this study, carboxymethyl cellulose and sodium metabisulfite coatings can be used as an appropriate coating agents for the preservation of organoleptic, chemical, microbial properties and shelf-life of button mushrooms.

Keywords: button mushroom, carboxymethyl cellulose, Edible coating, shelf-life, sodium metabisulfite

1. Graduate of Master of Food Science and Technology, Mehraein Non-Profit Institute, Bandar Anzali.
2. PhD student, Faculty of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Sabzevar Branch.
3. PhD student in Organic Chemistry, University of Guilan.
(* Corresponding Author: Mahyar.rad@yahoo.com)

مقاله علمی - پژوهشی

بررسی کیفیت کیک بدون گلوتن تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

مهران اعلمی^{1*} - بهاره فتحی²

تاریخ دریافت: 1398/07/05

تاریخ پذیرش: 1398/10/03

چکیده

ارزن یکی از غلات مقاوم به خشکسالی، آفت و بیماری و دارای فصل رشد کوتاه است. دانه‌های ارزن فاقد گلوتن بوده و می‌تواند در تولید محصولات غذایی برای بیماران سلیاکی استفاده شود. با توجه به کیفیت پایین محصولات پخت حاصل از غلات بدون گلوتن می‌توان از افزودنی‌ها و تیمار فیزیکی آرد برای بهبود ویژگی‌های پخت استفاده نمود. از این رو در تحقیق حاضر از تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن به‌عنوان روشی برای اصلاح ویژگی‌های آرد استفاده شد. در این پژوهش، تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن پروسو با رطوبت 20، 25 و 30 درصد در دماهای 100 و 120 درجه سانتی‌گراد به مدت 3 ساعت بر روی ویژگی‌های مختلف خمیر (نقل ویژه و ویسکوزیته) و کیک (حجم، رنگ، رطوبت و سفتی در طول نگهداری، ریزساختار) مورد ارزیابی قرار گرفت. افزایش دما و رطوبت تیمار به‌طور معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد ویسکوزیته خمیر و همچنین تیرگی و قرمزی رنگ کیک را افزایش داد. نمونه‌های تیمار شده در رطوبت و دمای کمتر موجب افزایش حجم کیک نسبت به نمونه شاهد شدند در حالی که در نمونه‌های تیمار شده در رطوبت و دمای بالاتر، بهبودی در حجم کیک مشاهده نگردید. با این حال در روز پخت و در طول نگهداری، بهبودی در بافت و میزان رطوبت مغز کیک در اثر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن ایجاد نگردید. بررسی ریزساختار کیک نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن موجب افزایش حفرات ریز و یکنواخت در بافت کیک گردید. بر اساس یافته‌های این پژوهش، تیمار حرارتی-رطوبتی ارزن می‌تواند روش مناسبی برای بهبود کیفیت کیک بدون گلوتن باشد.

واژه‌های کلیدی: دانه ارزن، تیمار حرارتی-رطوبتی، کیک، بدون گلوتن

مقدمه

ارزن یکی از مهم‌ترین محصولات مقاوم به خشکسالی و ششمین محصول غله بر اساس میزان تولید جهانی است. ارزن در مقایسه با غلات اصلی، مقاوم به آفت و بیماری، دارای فصل رشد کوتاه و قابلیت تولید در شرایط خشکسالی می‌باشد. با افزایش جمعیت جهان و کاهش منابع آب، این محصول کشاورزی برای استفاده انسان در آینده اهمیت زیادی پیدا می‌کند. دانه‌های ارزن فاقد گلوتن بوده و علاوه بر ارزش تغذیه‌ای‌شان دارای پتانسیل بهبود سلامت انسان از جمله جلوگیری از سرطان و بیماری‌های قلبی-عروقی، کاهش شیوع تومور، کاهش فشار خون، کلسترول و سرعت جذب چربی، و به تأخیر انداختن تخلیه معده می‌باشند. ارزن، پتانسیل قابل توجهی برای استفاده در منابع غذایی و نوشیدنی دارد و با توجه به افزایش تقاضای محصولات بدون گلوتن برای بیماران سلیاکی، می‌توان از آرد ارزن در تهیه این محصولات استفاده نمود (Taylor et al., 2006; Saleh et al., 2013).

کیفیت محصولات نانوائی بدون گلوتن (ساختار، احساس دهانی، قابلیت پذیرش و عمر ماندگاری) پایین‌تر از محصولات حاوی گلوتن است، از این رو تولید و بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن جدید یکی از چالش‌های مهم در صنعت غذا می‌باشد. استفاده از آرد یا نشاسته تیمار شده به روش‌های فیزیکی (برای مثال تیمار حرارتی-رطوبتی) یکی از راهکارهایی است که می‌تواند باعث بهبود کیفیت محصولات نانوائی بدون گلوتن شود (Gomez and Martinez, 2016). تیمار حرارتی-رطوبتی یک شیوه کم هزینه و ایمن برای اصلاح فیزیکی نشاسته می‌باشد. در این تیمار، آرد غلات یا گرانول‌های نشاسته با میزان رطوبت کم (معمولاً کمتر از 35%) در دماهای بالا (120-84 درجه سانتی‌گراد) به مدت مشخص (15 دقیقه تا 16 ساعت) حرارت داده می‌شوند (Zavareze and Dias, 2011). تیمار حرارتی-رطوبتی ساختار گرانولی نشاسته را تخریب نمی‌کند اما ساختار کریستالی، ویژگی‌های جذب آب، ویسکوزیته، رفتار ژلاتینه شدن و حساسیت آن به آنزیم‌ها و اسیدها را تغییر می‌دهد. بنابراین نشاسته تیمار شده به

(* نویسنده مسئول: Email: mehranalami@gmail.com
DOI: 10.22067/iftstrj.v16i5.83242

1 و 2- به ترتیب دانشیار و فارغ التحصیل دکتری، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

از آرد حاصل از ارزن تیمار شده در پخت کیک بدون گلوتن و بهبود کیفیت آن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ارزن مورد استفاده در این تحقیق از نوع ارزن پروسو (*Panicum miliaceum L.*) بود و با استفاده از آسیاب سنگی پوست‌گیری شد. دانه‌های ارزن پوست‌گیری شده بعد از جدا کردن مواد زائد و خارجی، با آب شهری شسته شده و سپس در آون 45 درجه سانتی‌گراد به مدت 6 ساعت خشک شدند. شکر، روغن آفتابگردان، تخم مرغ تازه، بیکنینگ‌پودر و وانیل از فروشگاه‌های معتبر مواد غذایی تهیه شد.

تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن

پس از تعیین رطوبت اولیه آرد ارزن و محاسبه مقدار آب لازم برای تنظیم محتوی رطوبت آرد به 20، 25 یا 30 درصد با استفاده از موازنه جرم، مقدار کافی از آب مقطر به آرد ارزن اسپری شد و کاملاً مخلوط گردید. برای به تعادل رسیدن رطوبت، نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی در 4 درجه سانتی‌گراد به مدت یک شب نگهداری شدند. سپس دانه‌های مرطوب در ظروف شیشه‌ای درب‌دار ریخته شده و در آون هوای داغ (ممرت، UFP500، آلمان) در دماهای مختلف (100 یا 120 درجه سانتی‌گراد) به مدت 3 ساعت حرارت داده شدند. بعد از حرارت‌دهی، نمونه‌ها از ظروف خارج و در آون 40 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت حدود 9 درصد خشک گردید. نمونه‌ها آسیاب شده و از الک با مش استاندارد 80 عبور داده شدند و سپس در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شدند (Punch-arnon, Uttapap, 2013).

تهیه کیک

کیک‌های پخته شده در این تحقیق از نوع نسبت پایین بوده و با استفاده از روش Bamford و Bennion (1997) با کمی تغییرات تهیه شدند. روغن آفتابگردان (57 گرم) و شکر (72 گرم) با استفاده از همزن به مدت 3 دقیقه با سرعت کم و سپس 3 دقیقه با سرعت متوسط کاملاً مخلوط شد. تخم‌مرغ کامل (72 گرم) به تدریج به مخلوط اضافه و 2 دقیقه با سرعت کم و سپس 2 دقیقه با سرعت متوسط همزده شد. آرد ارزن (100 گرم) که با بیکنینگ‌پودر (2 گرم) و وانیل (1 گرم) الک شده بود، به‌طور همزمان با آب به خمیر اضافه شد و 1 دقیقه با سرعت کم مخلوط گردید. خمیر کیک در قالب‌های پخت ریخته شده و کیک‌ها در آون 170 درجه سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه پخت شدند. بعد از پخت، کیک‌ها از قالب خارج شده و در دمای اتاق به مدت 1 ساعت خنک شدند. در نهایت کیک‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شده و در 25 درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمون نگهداری شدند. کیک تهیه شده از آرد ارزن تیمارنشده به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد. برای بررسی تأثیر

روش حرارتی-رطوبتی می‌تواند برای تولید محصولات مختلف به کار برده شود (Jacobs and Delcour, 1998).

تاکنون بسیاری از محققین تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی انواع نشاسته را بر روی ساختار و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها بررسی کرده‌اند (Zavareze and Dias, 2011). به دلیل هزینه بالا و مقدار زیاد نشاسته لازم برای تیمار حرارتی-رطوبتی، مطالعات کمی بر روی پتانسیل پخت آن‌ها صورت گرفته است (Miyazaki and Morita, 2005) حال آن که می‌توان این تیمار را بر روی آرد و یا خود دانه‌ها انجام داد (Gomez and Martinez, 2016). اخیراً نشاسته و آرد برنج و سورگوم به‌وسیله تیمار حرارتی-رطوبتی اصلاح شدند و مشخص شد که تیمار حرارتی-رطوبتی تأثیر بیشتری روی ویژگی‌های خمیری شدن و ویژگی‌های حرارتی آرد سورگوم و برنج نسبت به نشاسته داشت (Punch-arnon, Uttapap, 2013; Sun et al., 2014). ترکیبات آرد جدای از گرانول‌های نشاسته در طول تیمار حرارتی-رطوبتی متحمل تغییر می‌شوند و پروتئین‌ها نقش مهمی در تغییر ویژگی‌های نمونه آرد اصلاح شده بازی می‌کنند (Punch-arnon, Uttapap, 2013). Sun و همکاران (2013) با بررسی تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های برنج نتیجه گرفتند که می‌توان از این تیمار برای بهبود ویژگی‌های برنج تازه به جای نگهداری به مدت طولانی استفاده نمود. Vidya و همکاران (2013) غلات مختلف (برنج، سورگوم، ارزن انگشتی و ارزن مرورایدی) را به مدت 20 دقیقه بخار دهد و ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرهای تهیه شده از آرد دانه‌های بخاردهی شده و خام و همچنین کیفیت پخت آن‌ها را ارزیابی نمودند. آن‌ها دریافتند که خمیرهای ارزن مرورایدی و سورگوم تیمار شده حرارتی و سپس نمونه‌های برنج و ارزن انگشتی تیمار شده خصوصیات خمیر مطلوب داشتند و از نظر بافت بسیار نزدیک به نان چاپاتی گندم بودند. در تحقیقات دیگری، برنج قهوه‌ای را بعد از جوانه زدن تحت تیمار حرارتی-رطوبتی قرار دادند و پس از تبدیل به آرد، تأثیر جایگزینی آرد گندم با آن را بر روی کیفیت نودل (Chung et al., 2012) و کوکی (Chung et al., 2014) بررسی کردند و دریافتند که این تیمار، بافت و کیفیت پخت نودل را بهبود داد. Chen و همکاران (2015) از تیمار حرارتی-رطوبتی به عنوان روشی برای تغییر ویژگی‌های آرد و نشاسته گندم استفاده کردند و تأثیر این تیمار را بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و هضم‌پذیری آرد و نشاسته گندم بررسی کردند و اظهار داشتند که نتایج تحقیق آن‌ها ممکن است پتانسیل کاربرد در تهیه نودل، کوکی و اسنک‌های با مقدار کمتر نشاسته‌های سریع الهضم داشته باشد.

با توجه به این که تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن صوت نگرفته است، در تحقیق حاضر تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن با رطوبت 20 تا 30 درصد در دماهای 100 و 120 درجه سانتی‌گراد به مدت مشخص بر روی پتانسیل استفاده

توزین شد. در نهایت حجم کیک طبق رابطه زیر مشخص گردید (AACC, 2000).

$$(1) \text{حجم} = \frac{(\text{وزن ظرف} + \text{کیک}) - (\text{وزن ظرف} + \text{کلزا} + \text{کیک})}{\text{دانشسته کلزا}}$$

رنگ پوسته و مغز کیک

برای تعیین پارامترهای رنگ کیک، رویه کیک به وسیله اسکنر (اچ پی، scanjet G3110، آمریکا) تصویربرداری شد. سپس کیک به صورت عمودی به دو بخش مساوی برش خورد و از هر دو نیمه برش خورده کیک تصویر تهیه شد. تصویربرداری کیک با وضوح 600 نقطه در اینچ انجام گردید. رنگ پوسته و مغز کیک با استفاده از تصاویر اسکن شده و نرم افزار Image J (نسخه 1.42e) ارزیابی شد. میزان روشنی (اندیس L^*)، سبزی-قرمزی (اندیس a^*) و آبی-زردی (اندیس b^*) برای پوسته و مغز هر یک از نمونه‌ها تعیین گردید (Sun, 2008).

میزان رطوبت

5 گرم از مغز کیک در ظرف فلزی مخصوص اندازه‌گیری رطوبت که از قبل به وزن ثابت رسیده و توزین شده بود، ریخته شد و در آون با دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از رسیدن وزن نمونه به وزن ثابت، ظرف حاوی نمونه در دسیکاتور سرد و توزین شد. میزان رطوبت با استفاده از رابطه 2 محاسبه شد (AACC, 2000). اندازه‌گیری رطوبت کیک در روز پخت، سه و شش روز پس از پخت طی نگهداری اندازه‌گیری شد.

$$(2) \text{درصد رطوبت} = \frac{(W1 - W2)}{M} \times 100$$

W1: وزن اولیه نمونه و ظرف (گرم)

W2: وزن ظرف و نمونه پس از رسیدن به وزن ثابت (گرم)

M: وزن نمونه (گرم)

ارزیابی بافت کیک

ارزیابی بافت مغز کیک در روز پخت، روز سوم و ششم بعد از پخت با استفاده از آزمون آنالیز پروفایل بافت (TPA) به وسیله دستگاه بافت‌سنج (استیل میکروسیستم، TA.XT.plus، انگلستان) با نرم‌افزار Texture Expert صورت گرفت. برای انجام این آزمون، ابتدا پوسته کیک جدا گردید و سپس یک قطعه مکعبی با ابعاد 20×20×20 میلی‌متر از بخش مرکزی مغز کیک برش داده شد. با استفاده از یک پروب استوانه‌ای آلومینیومی (قطر 30 میلی‌متر)، بافت مغز کیک به اندازه 10 میلی‌متر (50%) از فشرده شد. سرعت نیروی وارد شده حین آزمون، 2 میلی‌متر بر ثانیه و زمان تأخیر بین دو سیکل، 30 ثانیه و نقطه شروع

آرد حاصل از ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی بر روی خصوصیات خمیر و کیک بدون گلوتن، آرد ارزن خام با آرد ارزن تیمار شده جایگزین گردید.

آزمون‌های آرد و خمیر

درجه ژلاتینه شدن نشاسته

برای تعیین میزان رنگ آبی آمیلوزاید، 0/2 گرم از نمونه آرد به 98 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد، با 2 میلی‌لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم 10 مولار تیمار شد و به مدت 5 دقیقه کاملاً مخلوط شد. سپس در 6000 دور در دقیقه به مدت 15 دقیقه سانتریفیوژ گردید. 1 میلی‌لیتر از سوپرناتانت برداشته شد و با 0/4 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 0/5 مولار تیمار گردید و حجم آن با آب به 10 میلی‌لیتر رسانده شد. 0/1 میلی‌لیتر واکنشگر ید (1 گرم ید و 4 گرم یدید پتاسیم در 100 میلی‌لیتر آب) به آن اضافه شد و بعد از اختلاط، جذب در 600 نانومتر در مقابل بلانک واکنشگر در اسپکترومتر (پی جی، T80+، انگلستان) خوانده شد. این برآورد با استفاده از 95 میلی‌لیتر آب و 50 میلی‌لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم 10 مولار، و 1 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 0/5 مولار برای خنثی‌سازی تکرار شد. نسبت دو جذب به دست آمده از هر نمونه می‌تواند درجه ژلاتینه شدن را به دست آورد (Birch and Priestley, 1973).

ثقل ویژه

جهت اندازه‌گیری این کمیت حجم مشابهی از خمیر کیک و آب مقطر در یک درجه حرارت یکسان وزن گردید. با تقسیم وزن خمیر کیک به وزن آب مقطر، ثقل ویژه خمیر کیک محاسبه شد (Turabi et al., 2008).

ویسکوزیته خمیر

ویسکوزیته خمیر کیک به وسیله ویسکومتر چرخشی (بروکفیلد، DV-II+pro، آمریکا) با استفاده از اسپیندل شماره S06 در سرعت برشی 20 دور در دقیقه اندازه‌گیری شد. خمیرها درست قبل از آزمون آماده شدند و آزمون در دمای 25 درجه سانتی‌گراد انجام گردید (Jyotsna et al., 2016).

آزمون‌های کیک

حجم

حجم کیک به روش جابجایی دانه‌های کلزا تعیین شد. در این روش ابتدا وزن حجم معینی از دانه‌های کلزا تعیین شد. با توجه به وزن و حجم دانه‌ها، دانشسته توده‌ای کلزا مشخص شد. سپس نمونه مورد نظر و دانه‌های کلزا با هم در یک ظرف با ابعاد مشخص قرار گرفته شده و

به دلیل ساختار کریستالی آن باشد که اتصالات هیدروژنی در آن نقش مهمی بازی می‌کنند. تیمار هیدروترمال به تنهایی می‌تواند موجب ژلاتینه شدن نشاسته بیشتر در خمیر آرد دانه بخاردهی شده گردد. زمانی که دما در طول فرآیند تهیه خمیر بالا می‌رود این اتصالات هیدروژنی می‌تواند ضعیف شود و در نتیجه گرانول‌های نشاسته به دلیل جذب آب متورم شده و احتمالاً موجب ژلاتینه شدن بیشتر در خمیر تیمار حرارتی شده گردد. Punch-aron و Uttapap (2013) نیز اظهار داشتند که ژلاتینه شدن جزئی در نمونه‌های تیمار شده در رطوبت بالا اتفاق می‌افتد.

ثقل ویژه خمیر

نتایج مربوط به ثقل ویژه خمیر کیک در جدول 1 ارائه شده است. ثقل ویژه خمیر یک فاکتور مؤثر بر کیفیت کیک است به طوری که ثقل ویژه کم‌تر، هوادهی بهتر خمیر کیک را نشان می‌دهد. ثقل ویژه کمتر می‌تواند با حباب‌های گاز بیشتر در خمیر خام مرتبط باشد که می‌تواند در طول پخت حباب‌های بزرگ‌تری تشکیل دهد و منجر به حجم بیشتر کیک گردد (Turabi et al., 2008). با این حال در کنار ورود هوا به خمیر، نگهداشت هوا به وسیله خمیر در طول پخت که به ویسکوزیته مرتبط است نیز بر حجم نهایی کیک تأثیر می‌گذارد. داده‌های به دست آمده نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های آرز، ثقل ویژه خمیر کیک را کاهش داد به طوری که ثقل ویژه خمیر آرد آرز تیمار نشده بیشترین بود (1/050) در حالی که ثقل ویژه خمیر کیک آرد آرز تیمار شده حرارتی-رطوبتی کمتر بود.

در دمای ثابت، با افزایش رطوبت تیمار از 20 به 30 درصد، ثقل ویژه خمیر کاهش یافت. نمونه‌های تیمار شده در دماهای مختلف دارای ثقل ویژه کمتری نسبت به نمونه شاهد بودند اما این اختلاف تنها در دمای 100 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 25 و 30 درصد معنی‌دار بود ($p < 0/05$) و نمونه‌های تیمار شده در دمای 120 درجه سانتی‌گراد، ثقل ویژه بیشتری نسبت به نمونه‌های تیمار شده در دمای 100 درجه سانتی‌گراد داشتند. مطالعه Rajiv و همکاران (2011) نشان داد که ثقل ویژه خمیر با افزایش میزان آرد آرز انگشتی در فرمولاسیون کاهش یافت. Marston و همکاران (2016) آرد سورگوم را در معرض تیمار حرارتی قرار دادند و کیفیت پخت کیک آن را ارزیابی نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که افزایش دما و زمان تیمار حرارتی موجب کاهش ثقل ویژه خمیر گردید. کاهش ثقل ویژه خمیر پس از تیمار حرارتی-رطوبتی می‌تواند به دلیل ژلاتینه شدن گرانول‌های نشاسته و جذب آب بیشتر توسط آن‌ها و در نتیجه افزایش ویسکوزیته خمیر باشد که این افزایش ویسکوزیته موجب به دام افتادن و پایداری بیشتر حباب‌های هوا در خمیر گردیده و ثقل ویژه خمیر را کاهش می‌دهد.

اعمال نیرو از سطح قطعه کیک بود. سفتی مغز کیک با استفاده از منحنی نیرو-زمان محاسبه شد (Lebesi and Tzia, 2012).

بررسی ریزساختار کیک

برای بررسی ریزساختار کیک، نمونه‌هایی از مرکز کیک قطعاتی به اندازه $10 \times 10 \times 10$ میلی‌متر برش خورد، چربی‌گیری شد و سپس به وسیله خشک‌کن انجمادی خشک شدند. نمونه‌ها با لایه نازکی از طلا تحت خلأ پوشانده شده و با استفاده از نوار چسب دو طرفه بر روی نگهدارنده نمونه میکروسکوپ الکترونی روبشی (هیتاچی، SU3500، ژاپن) ثابت شدند و در طول ریزنگاری از ولتاژ شتاب‌دهنده 3 کیلوولت استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش تأثیر دو فاکتور شامل رطوبت (در سه سطح 20، 25 و 30 درصد) و دمای (در دو سطح 100 و 120 درجه سانتی‌گراد) تیمار حرارتی-رطوبتی دانه آرز بر ویژگی‌های خمیر و کیک حاصل از آن با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل بررسی گردید. سطوح متغیرها بعد از آزمایشات مقدماتی انتخاب شدند. کیک تهیه شده از 100 درصد آرد آرز تیمار نشده به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. برای بررسی نتایج از آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) در سطح $\alpha = 0/05$ استفاده شد و در صورت معنی‌دار بودن، آزمون مقایسه چندگانه Duncan به کار رفت. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

درجه ژلاتینه شدن نشاسته

تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های آرز بر درجه ژلاتینه شدن نشاسته در جدول 1 نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود تیمار حرارتی-رطوبتی موجب افزایش قابل توجه درجه ژلاتینه شدن نشاسته گردید ($p < 0/05$). آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر فاکتورهای دما و رطوبت تیمار بر ژلاتینه شدن معنی‌دار بود و با افزایش دما و رطوبت، میزان ژلاتینه شدن در آرد آرز تیمار شده نسبت به نمونه خام افزایش یافت. درجه ژلاتینه شدن و تورم نشاسته همراستا با میزان رطوبت است یعنی میزان رطوبت بالاتر موجب تورم بیشتر نشاسته می‌شود. اگر چه میزان آب آزاد احتمالاً مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر تورم نشاسته است اما روند این واکنش به دما و زمان حرارت‌دهی در یک دمای مشخص نیز بستگی دارد (مارستون و همکاران، 1980). Vidya و همکاران (2013) گزارش کردند که درجه ژلاتینه شدن برای خمیر آرد تیمار شده به طور معنی‌داری بیشتر از خمیر آرد خام بود، که ممکن است این مقاومت برای نفوذ آب به داخل گرانول نشاسته خام

جدول 1- درجه ژلاتینه شدن آرد، ثقل ویژه، ویسکوزیته خمیر و حجم کیک تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (%)	دما (°C)	درجه ژلاتینه شدن (%)	ثقل ویژه خمیر	ویسکوزیته خمیر (cp)	حجم کیک (cm ³)
دانه تیمار نشده		6/19±0/03 ^d	1/050±0/010 ^a	8100±100 ^f	95/41±0/47 ^b
20	100	10/76±0/01 ^{cd}	1/036±0/005 ^{ab}	8975±425 ^e	101/73±1/52 ^a
	120	16/43±0/04 ^{bc}	1/043±0/016 ^{ab}	9025±125 ^e	100/19±0/71 ^a
25	100	21/05±0/03 ^{ab}	1/010±0/022 ^b	10350±150 ^d	100/09±2/73 ^a
	120	23/88±0/03 ^a	1/041±0/003 ^{ab}	16250±50 ^c	94/34±1/07 ^b
30	100	20/79±0/03 ^{ab}	1/009±0/021 ^b	17650±100 ^b	94/62±1/15 ^b
	120	26/23±0/05 ^a	1/020±0/002 ^{ab}	21325±25 ^a	89/33±1/07 ^c

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

ویسکوزیته خمیر

ویسکوزیته خمیر یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم در پخت کیک است. ویسکوزیته کم خمیر موجب کاهش حجم کیک می‌گردد زیرا خمیر نمی‌تواند حباب‌های هوای به دام افتاده را در داخل خود حفظ کند و زمانی که خمیر در آون قرار می‌گیرد این حباب‌ها به سمت بالا و سطح خمیر حرکت کرده و از کیک خارج می‌شوند (Delcour and Hosenev, 2010). با این حال یک خمیر بسیار ویسکوز نیز به دلیل انبساط محدود خمیر نمی‌تواند کیک با حجم بالا تولید کند. بنابراین ویسکوزیته خمیر بهینه و مناسب برای تولید کیک با حجم زیاد لازم می‌باشد (Gularte et al., 2012). همان‌طور که داده‌های ویسکوزیته خمیر در جدول 1 نشان می‌دهد تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن موجب افزایش قابل توجه ویسکوزیته خمیر گردید به طوری که کمترین میزان ویسکوزیته متعلق به نمونه شاهد (8100 سانتی‌پواز) و بیشترین ویسکوزیته مربوط به نمونه تیمار شده در 30 درصد رطوبت و دمای 120 درجه سانتی‌گراد (21325 سانتی‌پواز) بود ($p < 0/05$). افزایش ویسکوزیته می‌تواند به دلیل جذب آب، قدرت تورم و ژلاتینه شدن بیشتر نشاسته و دنا تورا سیون پروتئین در آرد تیمار شده حرارتی-رطوبتی باشد (Neil et al., 2012). Martinez و همکاران (2015) گزارش کردند که ضریب قوام خمیر نان گندم با افزایش درصد آرد اکستروود شده و شدت تیمار حرارتی افزایش یافت و به عبارت دیگر با افزایش شدت اکستروژن، خمیرها غلیظتر و الاستیک‌تر شدند.

حجم کیک

حجم کیک یکی از خصوصیات کیفی مهم می‌باشد به طوری که کیک‌های با حجم بیشتر مقبولیت بیشتری از نظر مصرف کنندگان دارند. داده‌های حجم (متغیر از 89/33 تا 101/73 سانتی‌متر مکعب) نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی ارزن، حجم کیک را به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) تغییر داد (جدول 1). نمونه‌های تیمار شده در رطوبت و دمای کمتر (رطوبت 20 درصد در هر دو دمای 100 و 120 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 25 درصد در دمای 100 درجه سانتی‌گراد) موجب افزایش

حجم کیک نسبت به نمونه شاهد شدند در حالی که در نمونه‌های تیمار شده در رطوبت و دمای بالاتر، بهبودی در حجم مشاهده نگردید. آرد ارزن تیمار شده در رطوبت 30 درصد و دمای 120 درجه سانتی‌گراد، حجم کیک را به طور معنی‌داری کاهش داد و این اثر ممکن است به دلیل ویسکوزیته بیش از حد خمیر باشد که از انبساط خمیر در آون جلوگیری می‌کند (Gularte et al., 2012).

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که دما و رطوبت تیمار حرارتی-رطوبتی بر حجم کیک تأثیر معنی‌دار دارند. اثر متقابل دما و رطوبت نیز معنی‌دار بود و نشان می‌دهد که تأثیر دما بر حجم کیک به میزان رطوبت بستگی دارد. با افزایش دمای تیمار حرارتی-رطوبتی در نمونه ارزن با رطوبت 20 درصد، حجم کیک حاصل تغییری نداشت. در مقابل، مشاهده شد که حجم کیک تهیه شده از آرد ارزن تیمار شده در 25 و 30 درصد رطوبت با افزایش دما کاهش نشان داد. Marston و همکاران (2016) تأثیر تیمار حرارتی بر پتانسیل پخت آرد سورگوم برای نان و کیک را بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که حجم کیک با افزایش دما و زمان تیمار حرارتی به استثنای شرایط سخت حرارت‌دهی افزایش پیدا کرد و این نتیجه هم راستا با نتایج حاصله در این پژوهش بود. مطالعه‌ای که توسط Pongjaruvat و همکاران (2014) انجام شد نشان داد که افزودن نشاسته تاپیوکا پیش‌ژلاتینه تا مقدار 20 درصد به نان برنج بدون گلوتن حجم مخصوص را افزایش داد. Miyazaki و Morita (2005) آرد گندم را با 20 درصد نشاسته ذرت تیمار شده حرارتی-رطوبتی جایگزین کردند و ویژگی‌های خمیر و نان را ارزیابی نمودند. آن‌ها دریافتند که نشاسته تیمار شده حجم نان را به‌طور قابل توجهی کاهش داد که مغایر با نتایج مطالعه پیش رو می‌باشد. با این حال زمانی که شورتینگ و آب بیشتر به این فرمولاسیون اضافه شد حجم نان تا حد زیادی بهبود یافت.

رنگ کیک

رنگ همراه با بافت و طعم خصوصیت مؤثری در پذیرش کیک‌ها می‌باشد. شاخص‌های رنگ (L^* ، a^* و b^*) برای مغز و پوسته کیک

مشاهده نگردید. کم رنگ‌تر بودن نمونه شاهد نسبت به نمونه تیمار شده احتمالاً به دلیل مقادیر بیشتر قندها و اسیدهای آمینه تولید شده در تیمار حرارتی شدید می‌باشد (Martinez *et al.*, 2013). پارامترهای رنگ پوسته کیک نیز تحت تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن قرار گرفتند. آرد ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی منجر به افزایش تیرگی (میزان کمتر شاخص L^*) و قرمزی (میزان بیشتر شاخص a^*) در پوسته کیک گردید در حالی که موجب زردی کمتر (میزان کمتر شاخص b^*) پوسته کیک شد ($p < 0/05$). قرمزی و زردی پوسته کیک بیشتر از مغز کیک بود در حالی که روشنی آن نسبت به مغز کیک کمتر بود. این می‌تواند به دلیل واکنش‌های مایلارد و کاراملیزاسیون باشد که در طول پخت در پوسته اتفاق می‌افتد و بنابراین مواد رنگی حاصله پوسته را تیره می‌کنند اما رنگ مغز تحت تأثیر ترکیبات تشکیل‌دهنده فرمولاسیون قرار می‌گیرد (Majzoobi *et al.*, 2014).

به‌ترتیب در جدول 2 و 3 آورده شده است. افزایش دما در تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن موجب تیره‌تر شدن مغز کیک گردید به‌طوری که نمونه‌های تیمار شده در 120 درجه سانتی‌گراد دارای شاخص L^* کمتری نسبت به نمونه شاهد بودند. شاخص a^* رنگ مغز کیک نیز تحت تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی قرار گرفت و به‌ترتیب نمونه‌های تیمار شده در دمای 120 درجه سانتی‌گراد و سپس نمونه‌های تیمار شده در دمای 100 درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین میزان قرمزی نسبت به نمونه شاهد بودند. در مورد شاخص b^* (زردی) مشاهده گردید که تیمار دانه‌های ارزن در 100 درجه سانتی‌گراد موجب کاهش زردی مغز کیک نسبت به نمونه شاهد شدند. زردی کیک تهیه شده از نمونه‌های تیمار شده در 120 درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت به استثنای نمونه تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتی‌گراد که زردی بیشتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. در مورد تأثیر رطوبت تیمار بر پارامترهای رنگ مغز کیک روند مشخصی

جدول 2- پارامترهای رنگ مغز کیک تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (%)	دما (°C)	L^*	a^*	b^*
دانه تیمار نشده		88/37±0/32 ^a	-1/25±0/20 ^d	36/76±0/42 ^b
20	100	88/05±0/36 ^{ab}	0/10±0/23 ^c	34/84±0/14 ^c
	120	85/21±0/23 ^d	2/73±0/20 ^a	36/70±0/27 ^b
25	100	87/68±0/23 ^b	1/02±0/09 ^b	29/62±0/55 ^c
	120	86/24±0/20 ^c	1/50±0/19 ^b	36/63±0/34 ^b
30	100	88/36±0/06 ^a	0/40±0/36 ^c	32/71±0/15 ^d
	120	85/98±0/27 ^c	2/24±0/75 ^a	37/51±0/89 ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

جدول 3- پارامترهای رنگ پوسته کیک تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (%)	دما (°C)	L^*	a^*	b^*
دانه تیمار نشده		74/57±0/61 ^a	14/01±0/68 ^b	45/17±0/73 ^a
20	100	67/13±1/28 ^b	19/30±1/98 ^a	44/34±1/62 ^a
	120	66/60±0/78 ^b	18/61±1/10 ^a	40/26±1/61 ^b
25	100	60/56±0/60 ^d	19/11±0/53 ^a	36/52±0/46 ^c
	120	63/75±0/56 ^c	18/61±0/28 ^a	38/56±0/58 ^{bc}
30	100	63/70±0/55 ^c	19/57±0/45 ^a	38/07±1/63 ^{bc}
	120	64/48±0/42 ^c	18/14±0/35 ^a	38/20±1/08 ^{bc}

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

داد که پوسته نان حاوی آرد اکستروژن شده در شرایط ملایم کم‌رنگ بود در حالی که پوسته نان حاوی آرد اکستروژن شده در شرایط شدید به‌طور قابل توجهی قرمزتر یا زردتر بود. این احتمالاً به دلیل مقادیر بالاتر

Jeong و همکاران (2013) گزارش کردند که افزایش مقدار آرد اکستروژن شده شاخص L^* کیک پوند را کاهش و شاخص b^* را افزایش داد. در مطالعه Martinez و همکاران (2013) آنالیز رنگ پوسته نشان

درجه سانتی‌گراد به مدت 45 دقیقه) کیک با میزان روشنی کمتر از نظر آماری در مقایسه با نمونه شاهد تولید کرد.

سفتی مغز کیک

سفتی بافت یکی از شاخص‌های مهم مشتری‌پسندی محصولات صنایع پخت به‌خصوص نان و کیک می‌باشد. به‌طوری که هر چه میزان سفتی بافت محصول کمتر باشد، میزان رضایت مصرف‌کننده بیشتر است. سفتی به عنوان حداکثر نیروی لازم برای فشردن کیک تا یک میزان مشخص در یک سرعت مشخص اندازه‌گیری می‌شود. میزان سفتی نمونه‌های کیک در طول نگهداری در جدول 4 گزارش شده است.

قندها و اسیدهای آمینه تولید شده به‌وسیله تیمار حرارتی شدید می‌باشد. عمدتاً تیمار حرارتی-رطوبتی به دلیل واکنش میلارد موجب تغییر رنگ و طعم می‌شود که بایستی برای استفاده از آرد تیمار شده حرارتی-رطوبتی به دقت مورد توجه قرار گیرد (Chung *et al.*, 2012). مطالعات Chung و همکاران (2012 و 2014) نشان دادند که جایگزینی آرد گندم با آرد برنج قهوه‌ای جوانه زده تیمار شده حرارتی-رطوبتی در فرمولاسیون نودل و کلوچه منجر به کاهش L^* و افزایش a^* و b^* گردید. این اثر تیره‌کنندگی هنگامی که زمان تیمار حرارتی-رطوبتی افزایش می‌یابد قابل توجه‌تر است. Marston و همکاران (2016) بیان داشتند که زمانی که دما و زمان تیمار حرارتی آرد سورگوم افزایش می‌یابد میزان روشنی مغز کیک کاهش می‌یابد. با این حال تنها بیشترین سطح تیمار (آرد سورگوم تیمار شده در 125

جدول 4- سفتی کیک (بر حسب g) تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (%)	دما (°C)	روز پخت (g)	روز سوم نگهداری (g)	روز ششم نگهداری (g)
دانه تیمار نشده		465±58 ^{Bb}	640±5 ^{Ad}	750±26 ^{Ac}
20	100	531±55 ^{Bb}	654±26 ^{Ad}	756±12 ^{Ac}
	120	476±55 ^{Bb}	805±71 ^{Abc}	935±24 ^{Ab}
25	100	530±40 ^{Bb}	751±68 ^{AcD}	794±64 ^{Ac}
	120	568±5 ^{Bb}	903±75 ^{Aab}	1101±114 ^{Aa}
30	100	470±20 ^{Cb}	707±8 ^{Bcd}	838±8 ^{Abc}
	120	716±17 ^{Ca}	965±43 ^{Ba}	1154±36 ^{Aa}

حروف کوچک متفاوت در هر ستون و حروف بزرگ متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

تیمار حرارتی، سفتی کیک کاهش یافت. آن‌ها اظهار داشتند که تیمار حرارتی موجب افزایش هوای وارد شده به خمیر در طول اختلاط و کاهش ثقل ویژه خمیر کیک و در نتیجه کاهش سفتی کیک می‌گردد. در کل تیمار حرارتی اثرات مثبتی بر روی کیفیت نان و کیک بدون گلوتن سورگوم داشت. سفتی نان و کیک تهیه شده از آرد سورگوم تیمار حرارتی شده کمتر از شاهد بود. در مطالعه Russo و Doe (1970) دمای بهینه تیمار حرارتی آرد برای بهبود عملکرد پخت در کیک‌های لایه‌ای 120 درجه سانتی‌گراد گزارش شد در حالی که زمان نگهداشت یک فاکتور بحرانی نبود. نتایج آن‌ها نشان داد که دماهای بسیار بالا اثر زیان‌آور بر روی بافت و طعم دارند.

در روز سوم پس از پخت، اثر دما و اثر رطوبت بر روی سفتی مغز کیک معنی‌دار بودند. نرمی کیک‌های ارزن تیمار شده در دمای 100 درجه سانتی‌گراد در همه رطوبت‌های مورد بررسی نسبت به نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند در حالی که کیک‌های ارزن تیمار شده در دمای 120 درجه سانتی‌گراد، سفتی بیشتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. همچنین با افزایش میزان رطوبت، میزان سفتی کیک در نمونه‌های تیمار شده با افزایش مواجه شد. در روز ششم نگهداری نیز

نتایج سفتی در روز پخت نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی به طور قابل توجهی بر بافت کیک تأثیر گذاشت. بر اساس نتایج آنالیز واریانس، تأثیر دما، رطوبت و اثر متقابل دما و رطوبت بر روی سفتی مغز کیک معنی‌دار بودند ($p < 0/05$). تأثیر دما بر روی سفتی کیک به میزان رطوبت بستگی داشت. افزایش دما در تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن با 20 و 25 درصد رطوبت، سفتی کیک را تغییر نداد. با این حال، تأثیر افزایش دما بر روی بافت کیک در رطوبت 30 درصد معنی‌دار بود. استفاده از آرد ارزن تیمار شده در 30 درصد رطوبت در دمای 100 درجه سانتی‌گراد تغییر معناداری در سفتی کیک در مقایسه با نمونه شاهد ایجاد نکرد اما کیک‌های تهیه شده از آرد ارزن تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتی‌گراد بافت فشرده‌تر و متراکم‌تری با بیشترین میزان سفتی را داشتند. مطابق با بررسی Lebesi و Tzia (2012) سفتی مغز کیک با حجم و تخلخل کیک مرتبط است به طوری که کیک‌های کوچک‌تر، بافت سفت و متراکم‌تری دارند. بر خلاف نتایج مطالعه حاضر، Marston و همکاران (2016) آرد سورگوم را در معرض تیمار حرارت خشک در دماهای 95 و 125 درجه سانتی‌گراد به مدت 15، 30 و 45 دقیقه قرار دادند و دریافتند که با افزایش زمان

بین نشاسته و پروتئین‌ها، کاهش مقدار رطوبت و یا توزیع مجدد آب بین ناحیه آمورف و کریستالی در آن دخیل است که به نظر می‌رسد علت اصلی بیاتی محصولات بدون گلوتن کاهش رطوبت و مهاجرت آسان‌تر آن از مغز به پوسته که در نتیجه عدم حضور گلوتن است می‌باشد (Ahlborn *et al.*, 2005). در پژوهش حاضر علی‌رغم تغییراتی که در ویژگی‌های دانه ارزن و در نتیجه آرد و خمیر آن به وجود آمد، تیمار حرارتی-رطوبتی نتوانست بیاتی کیک بدون گلوتن را به تأخیر بیاورد. Neill و همکاران (2012) اظهار داشتند که آرد تیمار حرارتی شده به فرمولاسیون‌های نسبت بالا اجازه می‌دهد که محصولاتی با عمر ماندگاری بالاتر، بافت نرم‌تر، مغز مرطوب و مزه شیرین‌تر ایجاد کنند. مکانیسمی که تیمار حرارتی به وسیله آن آرد را بهبود می‌دهد کاملاً شناخته شده نیست اما مشخص است که در طول فرآیند تیمار حرارتی غیرطبیعی شدن پروتئین و ژلاتینه شدن جزئی گرانول‌های نشاسته به علاوه افزایش ویسکوزیته خمیر اتفاق می‌افتد.

رطوبت مغز کیک

میزان رطوبت مغز کیک‌ها در روزهای مختلف نگهداری در جدول 5 نشان داده شده است. نتایج آنالیز آماری نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن تأثیر قابل توجهی بر میزان رطوبت مغز کیک در روز پخت نداشت.

نتایج مشابه روز سوم نگهداری به دست آمد. Morita و Miyazaki (2005) گزارش دادند که نان گندم حاوی 20 درصد نشاسته ذرت حرارتی-رطوبتی سفت‌تر از نان شاهد و نان حاوی نشاسته خام بود. در روز پخت، مغز نان حاوی نشاسته تیمار شده در دمای بالا سفت‌تر از نشاسته تیمار شده در دمای پایین بود اما بعد از یک روز نگهداری، سفتی نشاسته تیمار شده در دمای پایین از نشاسته تیمار شده در دمای بالا بیشتر شد. این نشان می‌دهد که فرآیند بیاتی نان حاوی نشاسته تیمار شده در دمای بالا متفاوت از نشاسته تیمار شده در دمای پایین است. Purhagen و همکاران (2011) دریافتند که میزان آب، سفتی و رتروگراداسیون آمیلوپکتین نان‌های حاوی آرد جو تیمار حرارتی شده متفاوت از نان شاهد بودند. نمونه‌های دارای نشاسته جو تیمار نشده و تیمار حرارتی شده و همچنین آرد جو تیمار حرارتی شده بعد از 7 روز نگهداری در مقایسه با نمونه شاهد سفتی کمتری داشتند.

نتایج آنالیز آماری نشان داد که تأثیر زمان نگهداری بر روی سفتی کیک برای تمامی نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش زمان نگهداری، سفتی مغز کیک افزایش یافت. با این حال، از روز سوم تا ششم پس از پخت، تغییر قابل توجهی در سفتی کیک مشاهده نشد. بیاتی یا سفت شدن بافت محصولات صنایع پخت در طول مدت زمان نگهداری، فرآیند پیچیده‌ای است که عوامل متعددی نظیر رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، تشکیل کمپلکس

جدول 5- رطوبت کیک تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (%)	دما (°C)	روز پخت (%)	روز سوم نگهداری (%)	روز ششم نگهداری (%)
دانه تیمار نشده		24/15±0/21 ^{Aa}	17/07±0/39 ^{Ba}	16/15±0/49 ^{Bab}
20	100	23/60±0/21 ^{Aa}	16/52±0/11 ^{Ba}	16/77±0/11 ^{Bab}
120		22/65±0/92 ^{Aab}	16/43±0/46 ^{Ba}	15/75±1/34 ^{Bab}
25	100	23/82±0/04 ^{Aa}	18/47±1/87 ^{Ba}	16/52±0/11 ^{Bab}
120		22/75±1/06 ^{Aab}	17/78±1/80 ^{Ba}	16/15±0/35 ^{Bab}
30	100	21/05±1/34 ^{Ab}	18/67±1/66 ^{ABa}	16/93±0/18 ^{Ba}
120		22/73±0/67 ^{Aab}	17/57±1/31 ^{Ba}	15/48±0/11 ^{Bb}

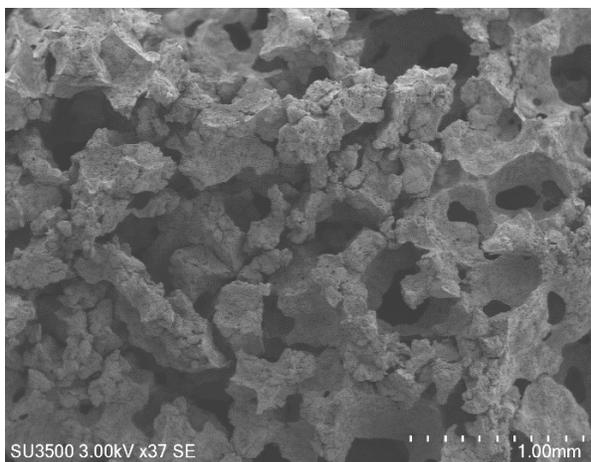
حروف کوچک متفاوت در هر ستون و حروف بزرگ متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

روز سوم و ششم نگهداری نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و نمونه‌های تهیه شده از آرد ارزن تیمار شده وجود ندارد. این نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر این که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن، میزان رطوبت اولیه کیک را تغییر نداد، همچنین نتوانست تغییر قابل توجهی در سرعت کاهش رطوبت کیک ایجاد کند. نتایج آنالیز آماری نشان داد که تأثیر زمان نگهداری بر روی رطوبت کیک برای تمامی نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش زمان، رطوبت مغز کیک کاهش یافت. این تغییر تا روز سوم قابل توجه بود اما بعد از آن، علیرغم کاهش میزان رطوبت تا روز ششم، افت رطوبت قابل توجهی مشاهده

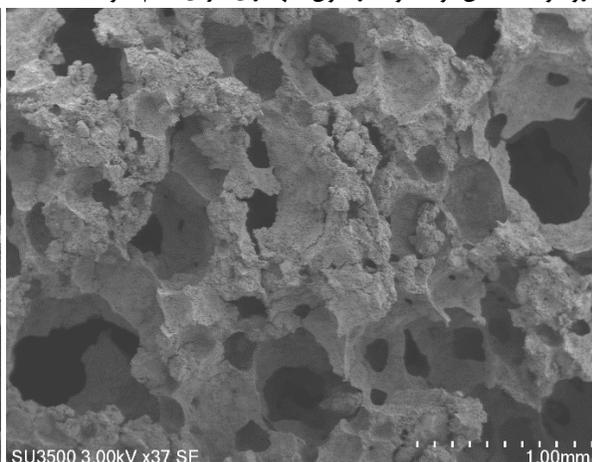
Seyhun و همکاران (2005) تأثیر انواع مختلف نشاسته را در به تأخیر انداختن بیاتی کیک پخته شده به روش مایکروویو بررسی کرده و گزارش کردند که نمونه‌های شاهد بیشترین افت رطوبت را در طول پخت داشتند و نشاسته پیش‌ژلاتینه مؤثرترین نشاسته در کاهش افت رطوبت بود. این نتیجه می‌تواند به وسیله ظرفیت نگهداشت بسیار بالای آب در نشاسته پیش‌ژلاتینه توضیح داده شود. با توجه به این که نشاسته‌های پیش‌ژلاتینه به‌طور قابل توجهی مقدار بیشتری آب را باند می‌کنند، توصیه می‌شود که برای نگهداشت آب در محصولات پخت استفاده شوند. بررسی مقادیر رطوبت مغز کیک نمونه‌های مختلف در

استثنای صمغ لوکاست، میزان و سرعت افت رطوبت مشابه نمونه شاهد بود. فقط صمغ لوکاست کاهش قابل توجهی در سرعت افت رطوبت نشان داد و وزن آن بعد از روز دوم تقریباً ثابت بود که نشان‌دهنده ظرفیت نگهداشت بالاتر آب در طول نگهداری می‌باشد. Purhagen و همکاران (2011) از 3 درصد آرد و نشاسته جو به شکل تیمار نشده و تیمار حرارتی شده در فرمولاسیون نان گندم استفاده کردند. نشاسته و آرد جو پیش تیمار شده نگهداشت آب در طول نگهداری را نسبت به نمونه شاهد بهبود دادند. این اتفاق منجر به تفاوت زیاد در میزان آب بین نان‌های حاوی این افزودنی‌ها و نمونه شاهد در پایان مطالعه (روز هفتم) گردید. علاوه بر این، آرد پیش تیمار شده قادر بود که آب را بهتر از نشاسته مومی پیش تیمار شده نگهدارد، در حالی که هیچ اختلافی بین افزودنی‌های تیمار نشده نبود.

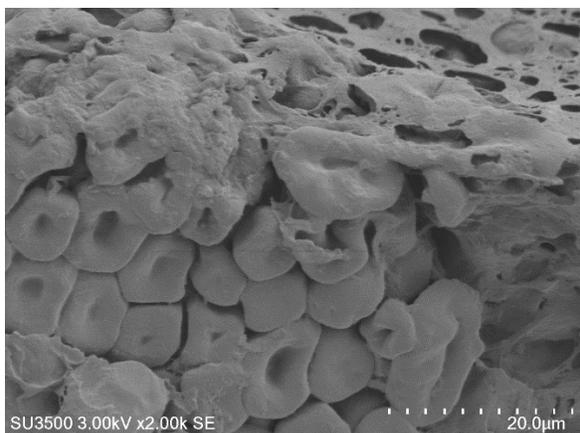
نگردید. یکی از پارامترهایی که در بیاتی کیک نقش مهمی دارد مهاجرت آب بین پوسته و مغز در طول نگهداری می‌باشد. در این مطالعه نیز همزمان با کاهش رطوبت مغز کیک، میزان رطوبت پوسته کیک افزایش یافت. این مهاجرت آب می‌تواند بخشی از سفت شدن بافت مغز در طول نگهداری را توضیح دهد (Hesso et al., 2014). Gomez و همکاران (2007) پتانسیل هیدروکلئیدهای مختلف (سدیم آلزینات، کاراگینان، پکتین، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، صمغ لوبیای لوکاست، صمغ گوار و صمغ زانتان) را در به تأخیر انداختن فرآیند بیاتی کیک لایه‌ای بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که کیک های حاوی هیدروکلئیدها (به استثنای هیدروکسی پروپیل متیل سلولز) افت رطوبت کمتری در طول پخت نسبت به نمونه شاهد داشتند و ظرفیت نگهداشت بالای آب در صمغ لوکاست نسبت به بقیه هیدروکلئیدها قابل توجه بود. در طول نگهداری، برای تمام نمونه‌ها به



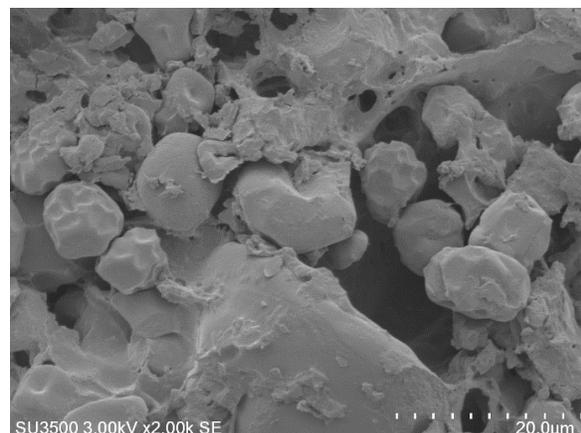
ب) کیک تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی (بزرگنمایی 37×)



الف) کیک تهیه شده از دانه ارزن خام (بزرگنمایی 37×)



د) کیک تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی (بزرگنمایی 2000×)



ج) کیک تهیه شده از دانه ارزن خام (بزرگنمایی 2000×)

شکل 1- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های کیک بدون گلوتن ارزن

بررسی ریزساختار کیک

کیک تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده در 25 درصد رطوبت و دمای 100 درجه سانتیگراد که پارامترهای کیفی خمیر و کیک آن نسبت به نمونه شاهد بهتر بود برای بررسی تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن بر ریزساختار کیک استفاده گردید. تصاویر 1-الف و 1-ب نشان می‌دهد که در نمونه کیک ارزن تیمار شده، سلول‌های هوای ریز و یکنواخت بیشتری نسبت به نمونه شاهد وجود دارد. طبق تحقیقات سایرین چنین تأثیری در ساختار کیک‌های بدون گلوتن پس از استفاده از صمغ نیز مشاهده شده است. Turabi و همکاران (2010) اظهار داشتند که نمونه شاهد دارای حفرات کوچک و بزرگ بود و توزیع آن‌ها یکنواخت نبود اما در کیک حاوی مخلوط زانتان-گوار، توزیع یکنواخت و همگن حفرات مشاهده گردید. شکل‌های 1-ج و 1-د نشان می‌دهد که در هر دو نمونه شاهد و تیمار شده، گرانول‌های نشاسته به شکل‌های مختلف دست نخورده، متورم و ژلاتینه شده در ماتریکس پروتئینی ناپیوسته و از هم گسیخته قرار گرفته‌اند اما میزان گرانول‌های ژلاتینه شده در نمونه کیک تهیه شده از ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی به طور قابل توجهی بیشتر می‌باشد. Rajiv و همکاران (2011) دریافتند که در کیک تهیه شده از 100 درصد آرد گندم، ماتریکس گلوتن پیوسته است اما با افزایش جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن انگشتی، پیوستگی ماتریکس پروتئینی کاهش یافته و به میزان بیشتری از هم گسیخته می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذاهای بدون افزودنی، به نظر می‌رسد تیمار فیزیکی دانه و آرد غلات مورد توجه قرار گیرد چون این تیمار، عملکرد نشاسته را بدون افزودن مواد خارجی تغییر می‌دهد. در همین راستا نتایج مطالعه حاضر، قابلیت تیمار حرارتی-رطوبتی در اصلاح عملکرد آرد ارزن برای کاربرد در فرمولاسیون‌های محصولات بدون گلوتن را با بهبود خصوصیات کیفی آن‌ها آشکار نمود. استفاده از آرد ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی، ویسکوزیته خمیر و میزان ورود هوا به داخل خمیر را افزایش و ثقل ویژه آن را کاهش داد. تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن در رطوبت و دمای پایین موجب بهبود حجم کیک گردید. با این حال تیمار دانه ارزن نتوانست بهبودی در نرمی بافت و میزان رطوبت مغز کیک در روز پخت و طی نگهداری ایجاد کند. بررسی ریزساختار کیک نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن موجب افزایش سلول‌های هوای ریز و یکنواخت در ساختار کیک گردیده و همچنین گرانول‌های نشاسته به میزان بیشتری ژلاتینه می‌شوند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پارامترهای کیفی خمیر و کیک تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده در 25 درصد رطوبت و دمای 100 درجه سانتیگراد نسبت به نمونه شاهد بهتر بود.

منابع

- AACC. 2000. Approved Methods of the AACC, 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- 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.
- Bennion, E.B., Bamford, G.S.T. 1997. Cake-making process. In *The technology of cake making*. Sixth edition. pp. 251-274. *Springer Science+Business Media*. Dordrecht.
- Birch, G. G., Priestley, R. J. 1973. Degree of gelatinization of cooked rice. *Die Starke*, 3: 98-100.
- Chen, X., He, X., Fu, X., Huang, Q. 2015. In vitro digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment. *Journal of Cereal Science*, 63: 109-115.
- Chung, H. J., Cho, A., Lim, S. T. 2012. Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle. *LWT- Food Science and Technology*, 47: 342-347.
- Chung, H.J., Cho, A., Lim, S.T. 2014. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT- Food Science and Technology*, 57: 260-266.
- Delcour, J. A., Hosney, R. C. 2010. Principles of cereal science and technology. Third edition. *AACCI press*. St. Paul, Minnesota.
- Gomez, M., Martinez, M. 2016. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science*, 67: 68-74.
- Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., Rosell, C. M. 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21: 167-173.
- Gularte, M. A., Gomez, M., Rosell, C. M. 2012. Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8): 3142-3150.
- Hesso, N., Liosel, C., Chevallier, S., Le Bail, A. 2014. Impact of pregelatinised starches on the texture and staling of conventional and degassed pound cake. *Food Bioprocessing and Technology*, 7: 2923-2930.
- Jacobs, H., Delcour, J.A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2895-2905.

- Jeong, S., Kang, W. S., Shin, M. 2013. Improvement of the quality of gluten-free rice pound cake using extruded rice flour. *Food Science and Biotechnology*, 22: 173–180.
- Jyotsna, R., Soumya, C., Swati, S., Prabhasankar, P. 2016. Rheology, texture, quality characteristics and immunochemical validation of millet based gluten-free muffins. *Food Measure*, 10: 762-772.
- Lebesi, D., Tzia, C. 2012. Use of endoxylanase treated cereal brans for development of dietary fiber enriched cakes. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 13: 207-214.
- Majzoubi, M., Habibi, F. G. M., Hedayati, S., Farahnaky, A. 2014. Influence of soy protein isolate on the quality of batter and sponge cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38: 1164–1170.
- Marston, K., Khouryieh, H., Aramouni, F. 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT- Food Science and Technology*, 65: 637-644.
- Martinez, M., Oliete, M., Gomez, M. 2013. Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 57: 424–429.
- Miyazaki, M., Morita, N. 2005. Effect of heat- moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. *Food Research International*, 38: 369-376.
- Neill, G., Al-Muhtaseb, A. H., Magee, T.R.A. 2012. Optimization of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food engineering*, 113: 422-426.
- Pongjaruvat, W., Methacanon, P., Seetapan, N., Fuongfuchat, A., Gamonpilas, C. 2014. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. *Food Hydrocolloids*, 36: 143-150.
- Punch-arnon, S., Uttapap, D. 2013. Rice starch vs. rice flour: differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. *Carbohydrate Polymers*, 91: 85-91.
- Purhagen, J. K., Sjøo, M. E., Eliasson, A. C. 2011. The use of normal and heat-treated barley flour and waxy barley starch as anti-staling agents in laboratory and industrial baking processes. *Journal of Food Engineering*, 104: 414-421.
- 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, rheology and quality characteristics of muffins. *Journal of Texture Studies*, 42: 478-489.
- Russo, J. V., Doe, C. A. 1970. Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. *International Journal of Food Science and Technology*, 5: 363-374.
- Saleh A. S. M., Zhang, Q., Chen, J., Shen, Q. 2013. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12: 281-295.
- Seyhun, N., Sumnu, G., Sahin, S. 2003. Effects of different emulsifier types, fat contents, and gum types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Nahrung/Food*, 47: 248–251.
- Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. *Academic Press*, New York.
- Sun, Q., Han, Z., Wang, L., Xiong, L. 2014. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. *Food Chemistry*, 145: 756-764.
- Sun, Q., Wang, T., Xiong, L., Zhao, Y. 2013. The effect of heat moisture treatment on physicochemical properties of early indica rice. *Food Chemistry*, 141: 853-857.
- Taylor, J. R. N., Schober, T. J., Bean, S. R. 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44: 252-271.
- Turabi, E., Sumnu, G., Sahin, S. 2008. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22: 305-312.
- Vidya, S., Ravi, R., Bhattacharya, S. 2013. Effect of thermal treatment on selected cereals and millets flour doughs and their baking quality. *Food and Bioprocessing Technology*, 6: 1218-1227.
- Zavareze, E.R., Dias, A.R.G. 2011. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 82: 317-328.

Evaluation of quality of gluten-free cake prepared from heat-treated millet seeds

M. Aalami^{1*}, B. Fathi²

Received: 2019.09.27

Accepted: 2019.12.24

Introduction: Millet is one of the cereals resistant to drought, pest and disease and has a short growing season. As the world's population grows and water resources decline, this agricultural product will increasingly become important for human use in the future. Millet is gluten-free grain and can be used to produce special food for celiac patients. Due to the low quality of baking products made from gluten-free cereals, additives and physical treatment of flour can be used to improve the baking properties. Therefore, in the present study, heat-moisture treatment of millet grains was used as a method to modify the flour properties.

Materials and Method: Proso millet (*Panicum miliaceum L.*) was dehulled using a stone mill and then moistened to 20, 25 or 30% of moisture by spraying sufficient distilled water, mixing and keeping in polyethylene bags at 4°C overnight. The moistened grains were poured into glass containers and heated in an oven at various temperatures (100 or 120 °C) for 3 h. After heating, the samples were removed from the containers and dried at about 40°C until about 9% moisture content. The samples were then milled and passed from the screen with standard mesh 80. In this study, cakes were prepared from untreated and treated millet grain. The specific gravity of batter was measured by dividing the weight of a specific volume of batter to the weight of the similar volume of water. Batter viscosity was determined by Brookfield viscometer. Cake volume was measured by the rapeseed displacement method. Color of cake crumb and crust were determined by scanner and image J software. The oven method was used for measuring cake moisture. The hardness of cakes was evaluated by texture profile analyzer. For study of the microstructure of cakes, scanning electron microscope (Hitachi) was applied. In this study, the effects of two factors including moisture of heat-moisture treatment (at 3 different levels) and temperature of heating (at 2 different levels) on the batter and cakes properties were studied by a completely randomized design. Statistical analyses were done via analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range tests for significance at $p < 0.05$ using SAS 9.1 software.

Results and discussion: The low specific gravity shows the better aeration of cake batter which can result in greater cake volume. Heat-moisture treatment of millet grains reduced the specific gravity of the cake batter so that the specific gravity of the untreated millet flour batter was the highest. The low batter viscosity reduces the cake volume because the batter cannot keep trapped air bubbles inside it and when the batter is placed in the oven, these bubbles move up to the surface of batter and they get out of the cake. However, a very viscous batter also cannot produce high volume cakes due to the limited expansion of the batter. Therefore, the optimum and appropriate viscosity of the batter is necessary for the production of large volume cakes. Heat-moisture treatment of millet grains significantly increased the viscosity of the batter ($p < 0.05$) so that the lowest viscosity was in the control sample and the highest viscosity was in the treated sample at 30% moisture and 120°C. The samples treated at lower moisture and temperature had higher cake volume compared to the control sample, while the treated samples at higher moisture and temperature showed no improvement in volume. Millet flour treated at 30% moisture and 120°C significantly reduced cake volume ($p < 0.05$) and this effect may be due to excessive viscosity of the batter which prevents the batter expansion in the oven. Increasing the treatment temperature and moisture significantly increased the darkness and redness of the cake color. However, at the baking day and during storage, there was no improvement in the texture and moisture content of the cake crumb after heat-moisture treatment of millet grains. The scanning electron micrographs of raw and treated millet cake showed that heat-moisture treatment of grains increased the uniform and fine cavities in the cake texture. Furthermore, in the cake prepared from treated millet, the gelatinized starch granules are found in the greater numbers.

The development of gluten-free bakery products has a growing market worldwide. Therefore, food industry specialists are looking for the production and improvement of the quality of these products. Due to the increasing consumer demand for non-additive foods, there is a growing interest in the physical treatment of cereals as it changes the starch performance without the addition of external ingredients. In this regard, the results of the present study revealed the ability of heat-moisture treatment to modify the performance of millet flour for application in gluten-free product formulations by

1. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

2. PhD Student, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

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

improving their qualitative properties. Application of heat-moisture treated millet increased cake batter viscosity and air penetration and reduced its specific gravity. Heat-moisture treatment of millet grain at low moisture and temperature improved cake volume. However, the treatment of millet grains did not improve texture and moisture content of the cake during storage. Study of microstructure of the cakes showed that the heat-moisture treatment of millet grain increased the uniform and fine air cells in the cake structure and also the starch granules were more gelatinized. According to the results of this study, heat-moisture treatment of millet grains at 25% moisture and 100 ° C improved quality parameters of batter and cake compared with control.

Keywords: Millet grain, Heat-moisture treatment, Cake, Gluten-free

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر گرمایش اهمیک بر سرعت انجماد زدایی و خصوصیات ماهی تن منجمد

مریم کشانی¹ - نفیسه زمین‌دار^{2*} - رضا حاجیان³

تاریخ دریافت: 1398/06/12

تاریخ پذیرش: 1398/10/04

چکیده

از نکات مهم در فرایند مواد غذایی منجمد، انجمادزدایی با حداقل آسیب به ویژگی‌های کیفی آن است. با توجه به اینکه روش‌های معمول مورد استفاده برای رفع انجماد مواد غذایی سرعت کمی داشته و باعث کاهش کیفیت محصول می‌شوند، استفاده از روش‌های انجمادزدایی کارآمد ضروری به‌نظر می‌رسد. انجمادزدایی اهمیک یک روش حرارتی-الکتریکی با توانایی تولید گرمای یکنواخت‌تر نسبت به دیگر روش‌های انجمادزدایی می‌باشد. در این روش با تعیین میزان جریان الکتریکی گذرا از محصول می‌توان سرعت انجمادزدایی را تغییر داد. در این پژوهش تأثیر انجمادزدایی مکعب‌های منجمد ماهی تن با روش اهمیک به‌صورت غوطه‌وری در ولتاژ 50، فرکانس ثابت 50 هرتز و در سه غلظت مختلف آب نمک (0/3، 0/4، 0/5 درصد) مورد بررسی قرار گرفت و خواص شیمیایی و فیزیکی نمونه‌ها طی سه روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بعد از انجمادزدایی اندازه‌گیری شد. مطابق با نتایج آزمون تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی، گذشت زمان باعث افزایش حلالیت پروتئین، pH، کل نیتروژن فرار باند شده، کاهش افت سانتی‌فویژ و افشره دارای اسانس گردید. اثر غلظت بر سرعت رفع انجماد معنی‌دار نبود ولی بر افت انجمادزدایی، افت تبخیر، افت سانتی‌فویژ، تلفات عصاره و کل نیتروژن فرار باند شده در سطح احتمال 5% اثر معنی‌داری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: ماهی تن، انجمادزدایی اهمیک، ازت فرار، حلالیت پروتئین

مقدمه

حفظ کیفیت غذاهای منجمد اهمیت دارد. طولانی‌تر شدن زمان ذوب ممکن است باعث افزایش رشد میکروب‌های بیشتر روی محصولات، همچنین کاهش قابلیت انحلال پروتئین‌ها و افزایش مصرف انرژی شود (Mousakhani-Ganjeh *et al.*, 2016). بدین منظور روش‌هایی کارآمد و ایمن برای انجمادزدایی سریع غذاهای منجمد ضروری است. روش‌های مختلفی برای رفع انجماد غذاهای منجمد وجود دارد؛ از جمله: انجمادزدایی در دمای اتاق، انجمادزدایی سردخانه‌ای، انجمادزدایی در آب نمک گرم، انجمادزدایی در آب ساکن، انجمادزدایی به کمک مایکروویو، انجمادزدایی فرکانس رادیویی، انجمادزدایی به روش اهمیک، انجمادزدایی در میدان الکتریکی با ولتاژ بالا و انجمادزدایی به کمک امواج صوتی (Liu *et al.*, 2017).

انجمادزدایی اهمیک یک روش حرارتی-الکتریکی است که داری گرمای یکنواخت تری نسبت به دیگر روش‌های حرارتی-الکتریکی می‌باشد. سرعت و یکنواختی نسبی گرمای حرارت اهمیک (OH) توسط عبور مستقیم جریان الکتریکی از درون محصول امکان‌پذیر است (Liu *et al.*, 2017). در این فرآیند از مقاومت الکتریکی غذاهای تیمار شده استفاده می‌شود، به‌گونه‌ای که انرژی الکتریکی تلف شده باعث ایجاد

تونا نام عمومی گروهی از گونه‌های ماهی است که متعلق به خانواده اسکامبروئیدا است. خانواده اسکامبروئیدا شامل ماهی تن، بونتیو، مکروول و غیره می‌باشد (Nordt and Pomeranz 2016). که در آب‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شود. تونا و گونه‌های شبیه تونا در بین ماهی‌ها به دلیل ارزش اقتصادی بالا در تجارت بین‌الملل از اهمیت خاصی برخوردارند، لیکن این نوع ماهی را به دلیل فصل ماهی‌گیری محدود، کمبود بازارهای در دسترس در نواحی خاص و هزینه‌های انتقال به نواحی دیگر نمی‌توان به‌صورت تازه مصرف کرد (Mousakhani-Ganjeh *et al.*, 2015). بنابراین بایستی از روش‌های نگهداری طولانی مدت استفاده شود.

سال‌های زیادی است که برای نگهداری غذاها به مدت طولانی از انجماد استفاده می‌شود چرا که همراه با حفظ کیفیت محصولات، زمان نگهداری آنها را افزایش می‌دهد. درحالی که تغییرات شیمیایی و فیزیکی و بیوشیمیایی که در طول انجماد زدایی‌های طولانی اتفاق می‌افتد، منجر به افت کیفیت محصولات می‌شود (Liu *et al.*, 2017). بنابراین انجام عملیات ذوب با سرعت زیاد و در دماهای پایین، برای

*- نویسنده مسئول: (Email: n.zamindar@khuisf.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.82797

1 و 2- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
3- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه بیوالکتریک، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

کاملاً از تفلون ساخته شده است در دو انتهای محفظه تیمار دو الکتروود دایره‌ای شکل به‌عنوان عامل اولیه عبور جریان از ماده غذایی از جنس استیل ضدزنگ نصب شد. در این تحقیق فاصله بین الکتروودها 7 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ماده غذایی در داخل محفظه تیمار به‌عنوان مقاومت الکتریکی عمل کرده، در فاصله بین دو الکتروود قرار می‌گیرد و در آن حرارت می‌بیند تا به دمای فرآیند برسد. ترموکوپل نوع K برای اندازه‌گیری دمای نمونه، در مرکز هندسی قطعات ماهی قرار گرفت و دمای آن خوانده شد. همچنین این سیستم دارای منبع ولتاژ متناوبی با فرکانس 50 هرتز، ولتاژ متغیر 0 تا 300 ولت و حداکثر توان 5 کیلو ولت آمپر می‌باشد. جریان و ولتاژ اندازه‌گیری می‌شود و به همراه دما به صورت سنکرون توسط میکروکنترلر به PC فرستاده می‌شود. داده‌های ارسالی از میکرو دریافت و درون فایل اکسل ذخیره می‌شوند.

تعیین هدایت الکتریکی

قبل از شروع کار، هدایت الکتریکی (میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) محلول آب نمک و نمونه ماهی اندازه‌گیری شد (Lascorz *et al.*, 2016). به این منظور محلول آب نمک با غلظت‌های مختلف از 0/1 تا 1 درصد وزنی/ حجمی سدیم کلرید تهیه و 24 ساعت در دمای محیط نگهداری شد سپس با استفاده از هدایت‌سنج (متروهم، 712، سوئیس) هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. همچنین رسانایی الکتریکی خمیر ماهی اندازه‌گیری شد.

روش آزمایشگاهی

در هر آزمایش سلول اهمیک از محلول آب نمک با غلظت‌های مشخص (0/3، 0/4، 0/5 درصد وزنی/حجمی) پر شده و ترموکوپل را به مرکز هندسی نمونه ماهی منجمدی که از قبل به دمای 18- درجه سانتی‌گراد رسیده، متصل کرده و ولتاژ ثابت 50 ولت و فرکانس 50 هرتز را اعمال می‌کنیم تا زمانی که مرکز نمونه به دمای 7- درجه سانتی‌گراد برسد سپس نمونه را از سل خارج کرده و پارامترهای وابسته بلافاصله پس از انجمادزدایی (در زمان صفر)، یک روز پس از انجمادزدایی (24 ساعت) و دو روز بعد از انجمادزدایی (48 ساعت) در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

تعیین سرعت انجمادزدایی

زمان لازم برای بالا بردن درجه حرارت در مرکز نمونه ماهی یخ زده از 18- به 7- درجه سانتی‌گراد به‌عنوان سرعت تعیین شده است. سرعت انجمادزدایی نمونه‌های ماهی یخ‌زده برابر است با تقسیم وزن نمونه ماهی منجمد بر زمان انجماد زدایی و با استفاده از معادله 1 محاسبه می‌شود (Rahbari *et al.*, 2018).

$$\text{Thawing rate} = \frac{\text{weight of frozen fish}}{\text{Thawing time}} \text{ (g/s)} \quad (1)$$

گرما می‌شود (اثر ژول). مقدار گرمای حاصل از تلفات الکتریکی مستقیماً با ولتاژ به‌کار برده شده و هدایت الکتریکی محصولات یا اجزاء محصولات در ارتباط است (قانون اهم) (Liu *et al.*, 2017). علاوه بر این که زمان فرآیند از روش‌های حرارت‌دهی مرسوم کمتر است، خصوصیات کیفی محصولات مثل طعم و مواد مغذی بالاتر خواهد بود (Liu *et al.*, 2017).

یکی از مسائلی که در استفاده از روش اهمیک وجود دارد ارتباط مناسب میان ماهی و الکتروود می‌باشد. همانطور که مشخص است ماهی دارای سطح صافی که تمامی نواحی آن به خوبی با الکتروود در ارتباط باشد، نیست و در حالت منجمد خاصیت شکل‌پذیری هم ندارد. بنابراین برای غلبه بر این مشکل در این پژوهش از محلول آب نمک به‌عنوان الکترولیت استفاده می‌کنیم.

در این مقاله انجماد زدایی در غلظت‌های مختلف آب نمک انجام شد و ماهی تا 48 ساعت پس از رفع انجماد نگهداری و پارامترهای شیمیایی ماهی و سرعت انجمادزدایی اندازه‌گیری شده است. با توجه به اینکه ماهی تون در صنعت پیش از فرآوری نیاز به رفع انجماد دارد، بنابراین تحقیق حاضر به دنبال بررسی روشی مناسب جهت رفع انجماد ماهی، به‌منظور حفظ بهتر جنبه‌های تغذیه‌ای و کیفی این گونه بوده تا بتواند به صنعت پیشنهاد نماید.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه ماهی تن

نمونه‌های منجمد ماهی تن حاصل از صید صنعتی با وزن تقریبی هر کدام 10 کیلوگرم از کارخانه تولید تن ماهی از مجتمع صنایع غذایی پگاه اصفهان تهیه و با محفظه‌های یخ به آزمایشگاه مهندسی صنایع غذایی انتقال یافت و بلافاصله مراحل آماده‌سازی نمونه آغاز شد. تمامی ماهیچه‌های سفید ماهی با استفاده از چاقو به ابعاد (3×3×3 سانتی‌متر) بریده و در بسته‌های پلاستیکی زیپ‌دار بسته‌بندی شده و در دمای 30- درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت نگهداری شد و سپس نمونه‌ها در 18- درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمون‌ها نگهداری شدند (Mousakhani-Ganjeh *et al.*, 2015).

تجهیزات مربوط به سیستم حرارت‌دهی اهمیک

ساختار گرم‌کننده اهمیک مورد استفاده در این مطالعه در نشان داده شده است. این سیستم شامل سه بخش، سیستم تامین انرژی الکتریکی، محفظه تیمار و سیستم کنترل است. در سیستم تامین انرژی الکتریکی به‌منظور تغییر در ولتاژ ورودی به دستگاه و به دنبال آن تغییر در سرعت حرارت‌دهی از یک منبع تغذیه جریان متناوب با فرکانس 50 هرتز استفاده شد. محفظه تیمار به شکل استوانه دارای طول و قطر داخلی معین و درب استوانه‌های قابل باز و بسته شدن بود. محفظه و درب آن

$$\text{Evaporation loss}(\%) = \frac{M_0 - M_T}{M_T} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Drip loss} = \text{Thawing loss} - \text{Evaporation loss} \quad (4)$$

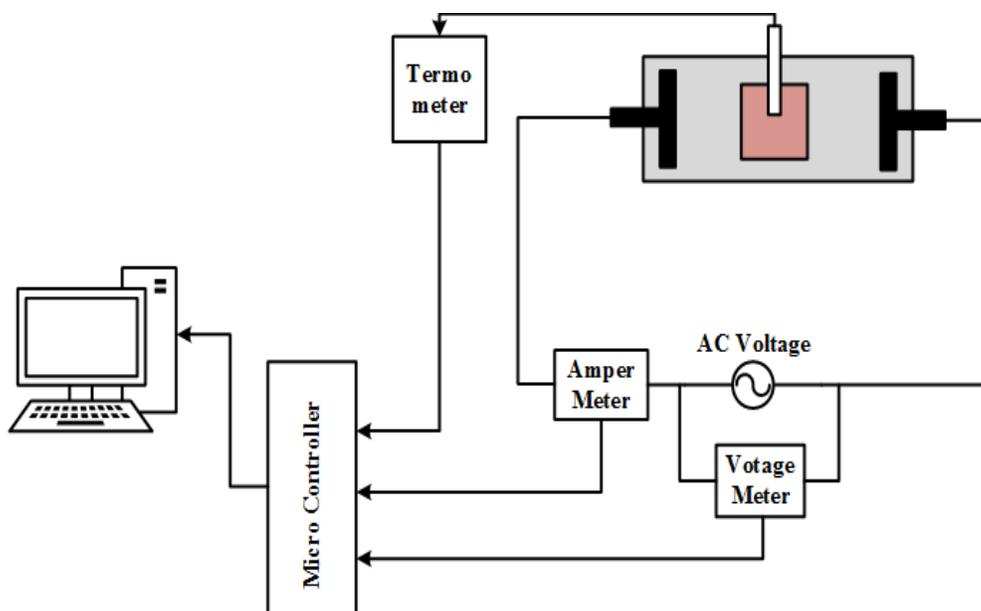
که در آن M_0 ، M_T و M_{TT} به ترتیب وزن ماهی یخ زده، وزن نمونه انجمادزدایی شده قبل از بین بردن آب سطحی و وزن ماهی رفع انجماد شده بعد از حذف آب سطحی است (He et al., 2013).

تعیین افت تبخیر، انجماد زدایی و تلفات عصاره

برای میزان افت وزن 3 شاخص بررسی شد، که شامل افت وزن ناشی از تبخیر، افت وزن ناشی از رفع انجماد، افت وزن ناشی از خروج خونابه، می‌باشد.

افت تبخیر، افت انجمادزدایی و افت عصاره، مطابق معادله‌های 2 و 3 و 4 محاسبه می‌شود:

$$\text{Thawing loss}(\%) = \frac{M_0 - M_{TT}}{M_{TT}} \times 100 \quad (2)$$



شکل 1- دیاگرام مربوط به سیستم گرمادهی اهمیک

$$\text{TVBN}(mg) = \frac{V \times C \times 14 \times 100}{M} \quad (5)$$

که در آن V ، حجم (میلی لیتر) اسید کلریدریک مصرف شده برای تیتراسیون، C غلظت محلول اسید کلریدریک مصرفی برای تیتراسیون و M ، وزن نمونه (گرم) می‌باشد.

حالیات پروتئین

اثر ذوب روی دناتوراسیون پروتئین با استفاده از قابلیت انحلال پروتئین تعیین می‌شود. 1 گرم از نمونه‌های ذوب شده همگن و در 20 میلی‌لیتر از پتاسیم یدید سرد یا پتاسیم فسفات (pH=7/2) مخلوط می‌شود. نمونه‌ها در 5000 دور بر دقیقه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد به مدت 20 دقیقه سانتریفوژ شدند. سپس 2 میلی‌لیتر از سوپرناتانت¹ را برداشته و با 8 میلی‌لیتر معرف بیورت مخلوط و جذب محلول در 540 نانومتر خوانده می‌شود. برای تهیه معرف بیورت، 0/15 گرم سولفات

کل نیتروژن فرار باند شده

قطعات ماهی ذوب شده در 4 درجه سانتی‌گراد به مدت یک هفته نگهداری شده و TVB-N نمونه‌های ماهی فوراً و 6 روز بعد از انجمادزدایی ارزیابی می‌شود. 10 گرم از گوشت ماهی خرد شده را با 50 میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و این مخلوط همراه با 2 گرم اکسید منیزیم به بالن کلدال انتقال یافت. برای جلوگیری از کف کردن، چند قطره از توتین 80 به آن اضافه شد. در یک ارلن مایر، 50 میلی‌لیتر محلول اسید بوریک 2% و چندین قطره معرف متیل رد اضافه شد و در خروجی کلدال نصب گردید. پس از آن شعله را روشن نموده تا مخلوط به آرامی شروع به جوشیدن و تقطیر کند، حرارت‌دهی تا زمانی که حجم ماده موجود در ارلن مایر به 150 سی‌سی برسد، ادامه یافت. محلول به‌دست آمده با اسید کلریدریک 0/1 نرمال تیترو و با استفاده از معادله 5، میزان ازت فرار موجود در نمونه گزارش گردید (Goulas and Kontominas 2005).

1 supernatant

نتایج و بحث

همانگونه که گفته شد برای تعیین میزان کیفیت انجمادزدایی به روش حرارت‌دهی اهمیتیک معیارهای سرعت انجمادزدایی، افت انجماد زدایی، افت تخییر، افت عصاره، اندازه‌گیری pH، TVB-N، حالیت پروتئین، افت سانتیفریژ مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مورد نظر توسط روش تجزیه تحلیل واریانس در ولتاژ 50 و در سه غلظت آب نمک (0/3، 0/4، 0/5 درصد) در مدت زمان سه روز نگهداری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در اثر غلظت بر افت انجمادزدایی در سطح احتمال 1% معنادار بود (جدول 2). در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/3% و 0/4%) تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین غلظت 0/5% و غلظت‌های 0/3% و 0/4% تفاوت آماری معنادار مشاهده شد. در بررسی اثر غلظت، همانگونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود بیشترین میزان افت انجمادزدایی مربوط به غلظت 0/5% و کمترین افت انجمادزدایی مربوط به غلظت‌های 0/3% و 0/4% بود. در جدول‌های 3 و 4 مقایسه میانگین برای معیارهایی که در غلظت یا زمان از نظر آماری معنادار بوده است، مشاهده می‌شود. جدول 1 و 2 مشاهده می‌شود. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات متقابل دو پارامتر مستقل (غلظت × روز) بر پارامتر TVB-N در سطح احتمال 5% معنادار می‌باشد.

سرعت انجمادزدایی

افزودن سدیم کلراید به تکه‌های گوشت منجر به افزایش سرعت انجمادزدایی و کوتاه شدن زمان انجمادزدایی شده است (Kim et al., 2006). کوتاه‌ترین زمان انجمادزدایی در مقایسه با روش‌های انجمادزدایی به سیستم اهمیتیک اختصاص داده شده است (Duygu and Ümit 2015). سرعت انجمادزدایی برای غلظت‌های آب نمک 0/3، 0/4 و 0/5 درصد به ترتیب برابر 0/21، 0/22 و 0/24 گرم بر ثانیه می‌باشد که بررسی تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی نشان از عدم تفاوت معنادار بین سطوح غلظت دارد ($p < 0/05$).

بررسی افت انجمادزدایی

اثر غلظت بر افت انجمادزدایی در سطح احتمال 1% معنادار بود (جدول 2). در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/3% و 0/4%) تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین غلظت 0/5% و غلظت‌های 0/3% و 0/4% تفاوت آماری معنادار مشاهده شد. در بررسی اثر غلظت، همانگونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود بیشترین میزان افت انجمادزدایی مربوط به غلظت 0/5% و کمترین افت انجمادزدایی مربوط به غلظت‌های 0/3% و 0/4% بود. در جدول‌های 3 و 4 مقایسه میانگین

مس 5 آبه و 0/6 گرم تارتارات مضاعف سدیم - پتاسیم در حدود 50 میلی لیتر آب مقطر حل شده و پس از افزودن 30 میلی لیتر سود 10% به حجم 100 میلی لیتر رسید. با استفاده از سرم آلبومین گاوی با غلظت 3 تا 9 میلی گرم بر میلی لیتر منحنی استاندارد به دست آمد (Warner et al., 1997).

اندازه‌گیری pH

برای اندازه‌گیری pH، 5 گرم نمونه با 20 میلی لیتر آب مخلوط و به مدت 5 دقیقه در 9000 دور بر دقیقه در یک همگن کننده فرایند، همگن و سپس pH قرائت گردید (Kim et al., 2006).

اندازه‌گیری PJ²

برای تست PJ، کاغذ فیلتر در بالا و زیر ماهی قرار داده می‌شود. فشرده سازی با سرعت ثابت 1 میلی متر بر ثانیه تا 60 درصد تغییر شکل با 0/1 ثانیه مکث بین خوانش و یک لودسل 122/5 نیوتونی انجام می‌شود. ماهی و کاغذ فیلتر قبل و بعد از فشرده‌سازی وزن می‌شوند و نتیجه تفریق وزن قبل و بعد از فشرده‌سازی به عنوان درصد افشره حجم ماهی شناخته می‌شود (Pedersen et al., 2016).

افت سانتیفریژ

دو گرم از ماهی ذوب شده همگن و برای 10 دقیقه با سرعت rpm 4000 سانتیفریژ می‌شوند، سپس ماهی همگن شده استخراج و وزن می‌شود. میزان وزن تلف شده در سانتیفریژ توسط اختلاف بین وزن اولیه (M_p) و ثانویه (M_c) مطابق معادله (7) به دست می‌آید و به صورت درصد بیان می‌شود (Li et al., 2017).

$$\text{Centrifugal loss}(\%) = \frac{M_p - M_c}{M_p} \times 100 \quad (6)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به منظور بررسی تاثیر تیمارهای مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. آزمایش با 3 سطح متفاوت برای غلظت آب نمک (0/3 - 0/4 - 0/5%) و مدت نگهداری (0، 24 و 48 ساعت) انجام پذیرفت، تجزیه و تحلیل واریانس با استفاده از نرم افزار SAS نسخه 9/2 و با در نظر گرفتن سطح احتمال کمتر از 0/05 انجام شد. در صورت معنی دار بودن اثر هر عامل آزمایشی از آزمون حداقل اختلاف معنی دار جهت مقایسه میانگین استفاده گردید. در این بخش از مطالعه نتایج به شکل میانگین ± انحراف استاندارد ارائه شدند.

برای معیارهایی که در غلظت یا زمان از نظر آماری معنادار بوده است، مشاهده می‌شود.

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت و زمان بر پارامترهای TVB-N، حلالیت پروتئین، pH، PJ، افت سانتریفوژ

میانگین مربعات					درجه آزادی	عوامل تغییرات
افت سانتریفوژ	PJ	pH	حلالیت پروتئین	TVB-N		
*37/79	0/3557 ^{ns}	0/00054 ^{ns}	3/76 ^{ns}	*11/48	2	غلظت
*84/17	*4/5	*0/031	*122/17	**22/83	2	روز
1/22 ^{ns}	0/1979 ^{ns}	0/00067 ^{ns}	10/07 ^{ns}	**71/3	4	غلظت * روز
1/49	0/5612	0/00053	9/63	23/99	18	خطا

* و ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد و غیرمعنی‌دار است.

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت بر پارامترهای افت انجماد زدایی، افت تبخیر، تلفات عصاره، سرعت انجماد زدایی

میانگین مربعات				درجه آزادی	عوامل تغییرات
سرعت انجماد زدایی	تلفات عصاره	افت تبخیر	افت انجماد زدایی		
0/0031 ^{ns}	**3/27	*8/7	**6/08	2	غلظت
0/039	1/98	0/15	2/139	6	خطا

* و ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد و غیرمعنی‌دار است.

جدول 3- جدول مقایسه میانگین زمان‌های مختلف بر پارامترهای TVB-N، حلالیت پروتئین، pH، PJ، افت سانتریفوژ

زمان	TVB-N	حلالیت پروتئین	pH	PJ	افت سانتریفوژ
صفر	16/39±1/37 ^b	16/6±2/7 ^b	5/55±0/054 ^b	3/497±0/32 ^a	12/76±2/55 ^a
24	16/98±0/658 ^b	18/6±2/58 ^b	5/64±0/067 ^a	2/931±0/41 ^{ab}	4/74±0/2 ^b
48	18/57±3/32 ^a	23/7±3/7 ^a	5/66±0/073 ^a	2/274±0/6 ^b	7/22±1/68 ^b

اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنادار از نظر صفات مورد بررسی از لحاظ آزمون LSD با یکدیگر ندارند (P ≤ 0/05)

جدول 4- جدول مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف آب نمک برای پارامترهای TVBN، افت سانتریفوژ، افت انجماد زدایی، افت تبخیر، تلفات عصاره

غلظت	TVB-N	افت سانتریفوژ	افت انجماد زدایی	افت تبخیر	تلفات عصاره
0/3	18/23±3/27 ^a	9±3/11 ^b	2/721±0/2 ^b	-2/068±0/15 ^a	4/14±0/3 ^a
0/4	16/92±1/257 ^b	11/4±3/12 ^a	1/459±0/4 ^b	-4/07±0/23 ^b	5/5±0/26 ^b
0/5	16/8±1/57 ^b	7/32±2/36 ^c	3/42±0/9 ^a	-1/89±0/036 ^a	5/3±0/9 ^b

اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنادار از نظر صفات مورد بررسی از لحاظ آزمون LSD با یکدیگر ندارند (P ≤ 0/05)

غلظت 0/4% و بیشترین افت انجماد زدایی مربوط به غلظت‌های 0/3% و 0/5% بود.

بررسی تلفات عصاره

تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی برای تلفات عصاره نشان‌دهنده معنادار بودن در سطح احتمال 1% می‌باشد. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/4% - 0/5%) تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین غلظت (0/3% و 0/5%) و (0/3% و 0/4%) تفاوت آماری معنادار

بررسی افت تبخیر

تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی برای افت تبخیر نشان‌دهنده معنادار بودن اثر غلظت در سطح احتمال 5% می‌باشد (جدول 2). در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/3% و 0/5%) تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین غلظت 0/4% و غلظت‌های 0/3% و 0/5% تفاوت آماری معنادار مشاهده شد. در بررسی اثر غلظت، همانگونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود کمترین میزان افت تبخیر مربوط به

بررسی حلالیت پروتئین

شاخص‌های زیادی برای ارزیابی میزان دناتوره شدن پروتئین‌ها وجود دارد. یکی از رایج‌ترین روش‌ها اندازه‌گیری میزان حلالیت پروتئین است. آزمایش فاکتوریل حاکی از معنادار بودن اثر زمان در سطح احتمال 5% بر حلالیت پروتئین می‌باشد اما اثر غلظت و غلظت در زمان بر آن معنادار نمی‌باشد. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان صفر و 24 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما در زمان 48 ساعت با زمان‌های صفر و 24 ساعت تفاوت آماری معنادار مشاهده گردید، در بررسی اثر زمان، همان‌گونه که در جدول 3 مشاهده می‌شود، نتایج نشان‌دهنده افزایش حلالیت پروتئین با گذشت زمان بود به نحوی که کمترین میزان حلالیت پروتئین در ساعت صفر و بیشترین حلالیت پروتئین در 48 ساعت مشاهده شد.

بررسی PJ

همانطور که در جدول 1 ملاحظه می‌شود اثر زمان بر PJ در سطح احتمال 5% معنادار می‌باشد اما اثر غلظت و غلظت در زمان بر PJ معنادار نمی‌باشد. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان 24 ساعت با زمان‌های صفر و 48 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما بین زمان‌های صفر و 48 ساعت تفاوت آماری معنادار مشاهده گردید، در بررسی اثر زمان، همان‌گونه که در جدول 3 مشاهده می‌شود، نتایج نشان‌دهنده کاهش میزان PJ با گذشت زمان بود به نحوی که بیشترین میزان PJ در ساعت صفر و کمترین میزان PJ در 48 ساعت مشاهده شد.

بررسی افت سانتیفریوژ

میزان افت سانتیفریوژ در سه غلظت مختلف و به مدت سه روز متوالی اندازه‌گیری شد، جدول 1 نشان می‌دهد اثر زمان و غلظت در سطح احتمال 5% بر افت سانتیفریوژ معنادار می‌باشد. اثر متقابل غلظت در زمان معنادار نبود. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان 24 و 48 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما در زمان صفر با زمان‌های 24 و 48 ساعت تفاوت آماری معنادار مشاهده گردید، در بررسی اثر زمان، نتایج نشان‌دهنده این است که بیشترین میزان افت سانتیفریوژ مربوط به زمان صفر می‌باشد (جدول 3).

در آزمون LSD میان هر سه سطح غلظت، تفاوت معنادار مشاهده شد. بیشترین افت سانتیفریوژ به ترتیب در غلظت‌های 0/4 و 0/5 و 0/5 درصد ملاحظه شد (جدول 4).

نتیجه‌گیری

مشاهده شد. در بررسی اثر غلظت، همان‌گونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود کمترین میزان تلفات عصاره مربوط به غلظت 0/3% و بیشترین تلفات عصاره مربوط به دو غلظت دیگر است.

بررسی pH

بر طبق داده‌های جدول 1 زمان در سطح احتمال 5% بر pH اثر معنی‌داری دارد اما اثر غلظت و غلظت در زمان بر pH معنادار نمی‌باشد. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان 24 و 48 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما زمان صفر با زمان‌های 24 و 48 ساعت تفاوت آماری معنادار نشان داد، در بررسی اثر زمان، کمترین میزان pH در زمان صفر و بیشترین میزان pH در زمان 48 ساعت مشاهده شد، همان‌گونه که در جدول 3 مشاهده می‌شود نتایج نشان‌دهنده افزایش pH است (تغییرات pH در طول زمان بسیار جزئی می‌باشد). pH ماهی زنده حدود 7 بوده که پس از مرگ به مقدار حدود 6 کاهش می‌یابد. این نشانه تازگی و کیفیت قابل قبول ماهی است، ولی بایستی در نظر داشت که pH به تنهایی عامل کافی برای تخمین کیفیت تازگی ماهی نیست. پس از مرگ ماهی به علت یکسری تغییرات شیمیایی که درون آن رخ می‌دهد ماهی فاسد می‌شود و pH آن افزایش می‌یابد (EIShehawey et al., 2016).

بررسی TVBN

شاخص TVBN برای ارزیابی فساد مواد غذایی استفاده می‌شود. نیتروژن فرار، که ناشی از تجزیه پروتئین و ترکیبات نیتروژن غیرپروتئینی است، عمدتاً به دلیل فعالیت میکروبی تولید می‌شود و در طول ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد (موسی‌خانی و همکاران، 2015).

اثر غلظت بر TVBN در سطح احتمال 5% معنادار می‌باشد، به علاوه اثر زمان و اثر متقابل غلظت در زمان نیز در سطح احتمال 1% معنادار گردیده است. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/3% و 0/4%) تفاوت معنادار در سطح احتمال 5% مشاهده شد اما بین غلظت 0/5% و غلظت 0/4% تفاوت آماری معنادار مشاهده نشد. در آزمون بین غلظت 0/3% و غلظت‌های 0/4% و 0/5% تفاوت معنادار در سطح احتمال 5% مشاهده شد.

در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان صفر و 24 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما در زمان 48 ساعت با زمان‌های صفر و 24 ساعت تفاوت آماری معنادار مشاهده گردید، در بررسی اثر زمان، همان‌گونه که در جدول 2 مشاهده می‌شود، مشابه نتایج (گولاس و همکاران، 2006) با گذشت زمان TVBN افزایش می‌یابد، به نحوی که کمترین میزان TVBN در ساعت صفر و بیشترین TVBN در 48 ساعت مشاهده شد.

نشد هم چنین نقطه سرد نمونه طی زمان بسیار کوتاهی به دمای نهایی رسید. یکی دیگر از نتایج به دست آمده در این روش انجمادزدایی کمتری بودن میزان آب چک و حفظ آب محصول است که از جمله عوامل موثر در حفظ بافت محصول می باشد. با توجه به نتایج آفت سانتیفریژ، انجمادزدایی، تبخیر و TVBN و غلظت های آب نمک مصرفی در این پژوهش ابتدا غلظت 0/4 و سپس 0/3 درصد جهت انجمادزدایی ماهی منجمد پیشنهاد می شود

از عوامل تاثیرگذار بر روی این انتقال حرارت می توان به اندازه اولیه قطعات نمونه، بافت، دمای اولیه محصول، خصوصیات حرارتی -الکتریکی و غیره اشاره کرد که در نهایت بر ویژگی های حسی، فیزیکی، شیمیایی و ارزش تغذیه ای محصول اثر می گذارد.

نقش ارزشمند ماهی در تغذیه به دلیل وجود اسیدهای چرب غیراشباع امگا3، املاح معدنی، فسفر و کلسیم، ویتامین ها و پروتئین ها و اسید آمینه های ضروری برای رشد و نگهداری فیزیکی بدن می باشد که موجب پیشگیری و حتی درمان برخی از بیماری ها می گردد. لیکن به دلیل فصل ماهی گیری محدود، کمبود بازارهای در دسترس در نواحی خاص و هزینه های انتقال به نواحی دیگر نمی توان ماهی را به صورت تازه مصرف کرد، به همین دلیل بسیاری از جوامع به مصرف ماهی کنسرو شده، روی آورده اند، بنابراین می بایست عطر و طعم، ارزش تغذیه ای مواد غذایی و کیفیت محصول حفظ گردد. در این مطالعه روش انجمادزدایی اهمیک به عنوان یک روش جدید برای رفع انجماد ماهی منجمد پرداخته شد. در این روش در مقایسه با روش های حرارتی - الکتریکی هیچ گونه سوختگی در لبه ها و اطراف نمونه مشاهده

منابع

- Duygu B, Ümit G 2015. Application of ohmic heating system in meat thawing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 195: 2822-2828 .
- ElShehawy SM, Gab-Alla AAE-F, Mutwally HM 2016. Quality Attributes of the Most Common Consumed Fresh Fish in Saudi Arabia. *International Journal of Nutrition and Food Sciences* 5: 85-94. doi: 10.11648/j.ijnfs.20160502.11
- Goulas AE, Kontominas MG 2005. Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry* 93: 511-520 .
- He X, Liu R, Nirasawa S, Zheng D, Liu H 2013. Effect of high voltage electrostatic field treatment on thawing characteristics and post-thawing quality of frozen pork tenderloin meat. *Journal of Food Engineering* 115: 245-250 .
- Kim J-Y, Hong G-P, Park S-H, Spiess WE, Min S-G 2006. Effect of Ohmic Thawing on Physico-Chemical Properties of Frozen Hamburger Patties. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 26: 223-228 .
- Li D, Jia S, Zhang L, Wang Z, Pan J, Zhu B ,Luo Y 2017. Effect of using a high voltage electrostatic field on microbial communities, degradation of adenosine triphosphate, and water loss when thawing lightly-salted, frozen common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Food Engineering* .
- Liu L, Llave Y ,Jin Y, Zheng D-y, Fukuoka M, Sakai N 2017. Electrical conductivity and ohmic thawing of frozen tuna at high frequencies. *Journal of Food Engineering* 197: 68-77 .
- Mousakhani-Ganjeh A, Hamdami N, Soltanizadeh N 2015. Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*). *Journal of Food Engineering* 156: 39-44 .
- Mousakhani-Ganjeh A, Hamdami N, Soltanizadeh N 2016. Thawing of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*) using still air method combined with a high voltage electrostatic field. *Journal of Food Engineering* 169: 149-154 .
- Nordt SP, Pomeranz D 2016. Scombrotoxic poisoning from tilapia. *The American journal of emergency medicine* 34: 339-331.
- Pedersen SJ, Feyissa AH, Kavli STB, Frosch S 2016. An investigation on the application of ohmic heating of cold water shrimp and brine mixtures. *Journal of Food Engineering* 179: 28-35 .
- Rahbari M, Hamdami N, Mirzaei H, Jafari SM, Kashaninejad M, Khomeiri M 2018. Effects of high voltage electric field thawing on the characteristics of chicken breast protein. *Journal of Food Engineering* 216: 98-106 .
- Warner R, Kauffman R, Greaser M 1997. Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits. *Meat science* 45: 339-352 .



Effect of Immersion Ohmic Heating on Thawing Rate and Properties of Frozen Tuna Fish

M.Keshani, N. Zamindar*, R. Hajian

Received: 2019.09.03

Accepted: 2019.12.25

Introduction: The Scombridae family of fish consists of tuna, bonito and mackerel species that are found in warm waters (Nordt and Pomeranz, 2016). Tuna species is important because of economic value and prevalence in global trade. Although, they are usually not consumed fresh because of the limited fishing season, lack of accessible markets at certain locations and cost of transport to other areas. Therefore, long-term preservation methods must be used. For many years, freezing has been the method of preserving food for a longer period without a significant quality decrease. Thawing with minimal damage to the products quality is very important. Since common thawing methods are usually slow and reduce food quality, a substituted technique seems necessary (Mousakhani-Ganjeh, *et al.*, 2015). Ohmic thawing is a thermal-electrical method with a more uniform heat compared to other thermal-electrical methods. The speed and relative uniformity of ohmic heating is possible by passing direct electrical current through the product. In this process, the electrical resistance of frozen food is utilized. Electrical energy passes through food by means of electrical current and is dissipated in the form of heat (Joule effect). Based on Ohm's law, the amount of dissipated heat is directly related to the used voltage and the electrical conductivity of the product or its parts.

Materials and Methods: Muscles of the frozen tuna fish were cut into 3x3x3 cm cubes and kept in zip lock bags and stored at -30°C for 24 h. Then the samples maintained at -18°C until the experiments time (Mousakhani-Ganjeh *et al.*, 2015). The ohmic cell was filled with saline solution (0.3%, 0.4% and 0.5% respectively) and the thermocouple was connected to the geometric center of the frozen fish at -18°C. Then a voltage of 50 volts with 50Hz frequency was applied until the sample center reached -7°C. The samples were then removed from the cells and protein solubility, pH, TVBN, centrifuge loss, thawing loss, drip loss, evaporation loss, and press juice were measured at 0, 24 and 48 h after thawing. Completely randomize design in factorial form with three replications was carried out for the experiments. Data were analyzed by SAS software.

Results and Discussion: In this research, ohmic thawing was evaluated as a new method for thawing fish. According to the results of ANOVA, with passing of time the protein solubility, pH, TVBN, centrifuge loss and press juice was increased. With further study of ANOVA of thawing loss and drip loss, it was concluded that salt concentration had significant effect on dependent parameters ($P < 0.05$). While keeping a high thawing speed, no burning marks appeared on the edges and around the samples in ohmic method.

Keywords: Tuna fish; Immersion ohmic thawing, TVB-N, Protein solubility.

(*Corresponding author's email: n.zamindar@khuisf.ac.ir)

مقاله علمی - پژوهشی

بررسی اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا و تغییر اندازه ذرات آرد سوخاری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ناگت مرغ

مریم سادات ستوده^۱ - نفیسه سلطانی‌زاده^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۳

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی نقش اندازه ذرات آرد سوخاری و اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری و خمیرآبه بر ویژگی‌های ناگت مرغ بود. آرد سوخاری در سه اندازه ریز، متوسط و درشت تهیه شد. سپس ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا به‌طور جداگانه یک بار به آرد سوخاری با اندازه ذرات متفاوت و یک بار به خمیرآبه افزوده شد و در تهیه ناگت مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، مقدار جذب آرد سوخاری، میزان رطوبت، افت پخت، تخلخل، جذب روغن، رنگ و ویژگی‌های بافتی ناگت‌های مرغ مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با ذرات آرد سوخاری ریز، بیشترین محتوی رطوبت و کمترین تخلخل و جذب روغن را داشتند. استفاده از ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه تغییرات قابل توجهی در خصوصیات بافتی ایجاد کرد اما تاثیر معنی‌داری بر رنگ نداشت. این در حالی است که افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری اثر معنی‌دار بیشتری در نگهداری رطوبت و کاهش افت پخت، تخلخل و جذب روغن نشان داد. همچنین براساس نتایج به‌دست آمده افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری تاثیر معنی‌داری در کاهش جذب روغن و بهبود ویژگی‌های ناگت مرغ نسبت به افزودن این ترکیب به خمیرآبه داشت. به‌طور کلی استفاده از آرد سوخاری ریز که دارای ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا است می‌تواند نقش قابل توجهی در بهبود ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای ناگت مرغ داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: ایزوله پروتئین سویا، ناگت مرغ، آرد سوخاری، لایه خمیرآبه

مقدمه

در دهه‌های اخیر و با گسترش زندگی صنعتی، تقاضا برای مصرف مواد غذایی نیمه آماده افزایش چشمگیری داشته است. یکی از محبوب‌ترین و متداول‌ترین غذاهای نیمه آماده ناگت‌ها هستند که جزء محصولات خمیری پوشش داده شده و سوخاری می‌باشند. سرخ کردن عمیق یک فرایند پخت برای این دسته از مواد غذایی است که به دلایل مختلف از جمله سرعت پخت بالا و صرفه جویی در زمان و ویژگی‌های حسی مطلوب مثل طعم، رنگ و بافت مناسب، محبوبیت و بازار پسندی بسیار زیادی نسبت به دیگر روش‌های پخت دارد (Holownia et al., 2000). اما مشکل اصلی در ارتباط با مواد غذایی سرخ شده، میزان جذب زیاد روغن در طول فرایند سرخ کردن عمیق است که اثرات سوء بر سلامت انسان از جمله افزایش وزن، تشدید ابتلا به کلسترول و فشار خون بالا، بیماری‌های قلبی و عروقی، سرطان و غیره دارد (Xavier et al., 2017). همچنین جذب بیش از حد روغن روی خصوصیات ظاهری محصول (تیرگی رنگ) و کاهش کیفیت و عمر ماندگاری تاثیرگذار است. طی فرایند سرخ کردن بر اساس مکانیسم انتقال جرم و

حرارت، آب موجود در محصول تبخیر شده و با ایجاد تخلخل، شرایط برای نفوذ و جایگزینی روغن به داخل بافت محصول فراهم می‌شود. از این رو محققان صنایع غذایی راهکارهای موثری را در جهت کاهش جذب روغن و اصلاح و بهبود ویژگی‌های ماده غذایی ارائه داده‌اند. یکی از روش‌های کاهش جذب روغن و افزایش کیفیت ناگت، به‌کارگیری هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون ناگت می‌باشد. در بحث تاثیر هیدروکلوئیدها در کاهش جذب روغن، مکانیسم فعالیت هیدروکلوئیدها از طریق اتصال با مولکول‌های آب و حفظ رطوبت، تغییر خاصیت هیدروفوبی سطح و تشکیل ژل حرارتی می‌باشد که به این ترتیب تبخیر آب و انتشار رطوبت از لایه داخلی و میانی به سطح و در نتیجه میزان تخلخل کاهش می‌یابد و میزان جذب روغن و محتوی روغن محصولات سرخ شده را نیز کاهش می‌دهد (Holownia et al., 2000).

Kurt و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد ایزوله پروتئین سویا و ایزوله پروتئین‌های آب پنیر به‌صورت محلول فیلم پوشش‌دهنده روی قطعات سینه مرغ، تاثیر این ترکیبات در کاهش جذب روغن را مشاهده نمودند.

*- نویسنده مسئول: (Email: soltanizadeh@iut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.82491

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

سوخاری بر بهبود ویژگی‌های ناگت مرغ بررسی می‌گردد و با اضافه کردن این هیدروکلوئید در خمیرآبه مقایسه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

پترولیوم اتر (پارس شیمی، ایران)، بتا کاروتن ۳۰٪ محلول در روغن (BASF، آلمان)، ایزوله پروتئین سویا (Merck، آلمان)، آرد سوخاری (نان گستر سپاهان، ایران) و روغن سرخ کردنی آلمو (ایران) تهیه شدند.

تهیه آرد سوخاری

آرد سوخاری از کارخانه نان گستر سپاهان واقع در شهرک صنعتی جی اصفهان تهیه گردید و سپس با استفاده از الک به سه اندازه ریز، متوسط و درشت تقسیم شد. از الک‌های با مش ۴۰ (۰/۴۲ mm) و ۶۰ (۰/۲۵ mm) برای تهیه آرد سوخاری با اندازه ریز، الک‌های با مش ۱۸ (۱ mm) و ۲۰ (۰/۸۴ mm) برای تهیه آرد سوخاری با اندازه متوسط و الک‌های با مش ۱۰ (۲ mm) و ۱۲ (۱/۶۸ mm) برای تهیه آرد سوخاری با اندازه درشت استفاده شد.

اندازه‌گیری قابلیت جذب ایزوله پروتئین سویا

مقدار ۰/۰۵ گرم از این هیدروکلوئید به ۵ گرم آب افزوده و به خوبی مخلوط شد و سپس ظرفیت نگهداری آب لحظه‌ای و تدریجی (بعد از ۳ ساعت هیدراته شدن) محاسبه گردید. در حالت لحظه‌ای، بلافاصله پس از افزودن آب، محلول هیدروکلوئید به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دور ۳۰۰۰ سانترفوژ شد. ارزیابی ظرفیت نگهداری آب تدریجی نمونه، بعد از ۳ ساعت قرارگیری در انکوباتور شیکردار، در همان شرایط انجام شد. پس از جداسازی فاز بالایی، نمونه توزین شد و طبق معادله زیر، قابلیت جذب آب محاسبه گردید.

$$(1) \quad \text{وزن اپندرف} - \text{وزن صمغ و اپندرف} = \text{قابلیت جذب آب} \times 100$$

وزن اولیه صمغ

تهیه ناگت مرغ

ناگت مرغ از کارخانه ماهور (پاپلس) واقع در شهرک صنعتی سروش بادران اصفهان تهیه شد. به منظور تولید ناگت، خمیر ناگت، تهیه و قالب زنی شده و به وسیله ماشین‌های پوشش‌دهنده، به ترتیب آرد گندم و خمیرآبه متشکل از آرد گندم، ادویه‌جات، نشاسته، تخم‌مرغ و آب بر روی نمونه‌ها ریخته شد و سپس نمونه‌ها با آرد سوخاری پوشش داده شدند. به منظور بررسی اثر افزودن هیدروکلوئید روی ویژگی‌های کیفی ناگت، ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا براساس وزن آرد سوخاری، به‌طور جداگانه و در حالت خشک و غیرمحلول به آرد سوخاری تهیه شده در سه اندازه ریز، متوسط و درشت افزوده و روی سطح ناگت‌ها پوشش داده شدند.

Dogan و همکاران (۲۰۰۵) از آلبومین سفیده تخم‌مرغ، ایزوله پروتئین سویا و ایزوله پروتئین آب پنیر در لایه خمیرآبه ناگت مرغ استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که ایزوله پروتئین سویا در کاهش جذب روغن طی فرایند سرخ کردن عمیق موثرتر است. آلبومین سفیده تخم‌مرغ نیز در کاهش جذب روغن موثر بوده و می‌تواند جذب روغن در قطعات سینه مرغ را تا ۲۷ درصد کاهش دهد (Myers et al., 2012). Nayak و همکاران (۲۰۱۵) با کاربرد صمغ کاراگینان در سه سطح (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ درصد) در فرمولاسیون خمیر ناگت مرغ گزارش کردند که نمونه‌ی حاوی ۰/۷۵ درصد کاراگینان، بیشترین میزان رطوبت و کمترین محتوی چربی و بیشترین بازده سرخ کردن را داشت.

ایزوله پروتئین سویا یکی از ترکیباتی است که در صنایع غذایی به‌منظور بهره‌گیری از خصوصیات عملکردی آن در بسیاری از محصولات غذایی مانند فرآورده‌های گوشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ترکیب حداقل ۹۰ درصد پروتئین دارد که با فرایندهایی که بر روی کنسانتره پروتئین سویا به‌منظور حذف ناخالصی‌ها انجام می‌گیرد، خلوص آن افزایش می‌یابد. اما اسیدهای آمینه گوگرد دار آن به میزان زیادی از بین می‌روند. از این جهت، ارزش تغذیه‌ای آن از کنسانتره سویا کمتر است. مهمترین زیرواحدهای موجود در ایزوله پروتئین سویا، گلایسینین^۱ (گلوبولین S ۱۱) و بتا کانگلاسیسینین^۲ (گلوبولین Vs) هستند (Liu et al., 2017). این زیرواحدها در شرایط مختلف pH، قدرت یونی و دما با یکدیگر پیوند داده و ژل‌های سرد و یا حرارتی به‌وجود می‌آورند (Maltais et al., 2005). همچنین ایزوله پروتئین سویا از خاصیت امولسیون‌کنندگی بسیار خوبی برخوردار است که از آن در تولید مواد غذایی بهره برده می‌شود (Molina, 2001).

با توجه به اهمیت بهبود ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی آماده مصرف که امروزه با اقبال مصرف‌کنندگان روبه‌رو شده‌اند، لازم است توجه ویژه‌ای به نحوه آماده‌سازی این نوع مواد غذایی صورت گیرد. ناگت مرغ یکی از این مواد غذایی است که به دلیل سهولت آماده‌سازی جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی افراد یافته است. از آن جا که برای فراوری این ماده غذایی از روش سرخ کردن استفاده می‌شود، میزان زیادی روغن توسط آن جذب شده و مصرف طولانی مدت آن، آسیب‌های جدی به سلامت مصرف‌کنندگان وارد خواهد نمود. تاکنون تلاش‌های زیادی در راستای تغییر فرمولاسیون ناگت مرغ صورت گرفته تا بدین طریق جذب روغن در آن کاهش یابد اما آنچه از دید محققان پنهان مانده است اثر ساختار فیزیکی ناگت مرغ در جذب روغن و سایر ویژگی‌های آن از جمله بافت، رنگ و غیره است. لذا هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر اندازه ذرات آرد سوخاری بر مقدار جذب آرد سوخاری، میزان رطوبت، افت پخت، تخلخل، رنگ، بافت و به‌خصوص جذب روغن ناگت مرغ است. همچنین اثر اضافه کردن ایزوله پروتئین سویا به لایه آرد

به این ترتیب میزان تخلخل بر اساس درصد محاسبه شد (Castleman, 1996).

جذب روغن

پس از اندازه‌گیری چربی نمونه‌های ناگت خام و سرخ شده به روش AOAC (۲۰۰۷)، درصد روغن جذب شده با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$(۴) \quad \text{روغن نمونه خام} \times ۱۰۰ - \text{درصد روغن نمونه سرخ شده} = \text{درصد روغن نمونه خام} = \text{درصد جذب روغن}$$

نفوذ روغن

به منظور ارزیابی میزان نفوذ روغن از سطح ناگت به لایه‌های داخلی، ابتدا به ازای هر ۱۰۰ میلی‌لیتر روغن، ۱ میلی‌لیتر بتاکاروتن محلول در روغن، به روغن سرخ‌کردنی افزوده شد و نمونه‌های ناگت خام به مدت ۹۰ ثانیه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در این روغن سرخ شدند. سپس با ایجاد برش عرضی، تصویر نمونه‌های ناگت با استفاده از دستگاه اسکنر تهیه شد و با استفاده از نرم‌افزار ایمیج جی ورژن ۱.۴۷، سطح کل ناگت و سطح قسمتی از ناگت که روغن نفوذ نکرده بود اندازه‌گیری شد و میزان نفوذ روغن با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$(۶) \quad ۱۰۰ \times \frac{\text{سطح کل ناگت} - \text{سطح ناحیه نفوذ نکرده روغن}}{\text{سطح کل ناگت}} = \text{میزان نفوذ روغن}$$

رنگ

رنگ سطح خارجی ناگت‌های سرخ شده، با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Nippon Denshoku؛ ژاپن) اندازه‌گیری شد (Tamsen *et al.*, 2018).

بافت ناگت

بررسی پروفایل بافت ناگت مرغ با دستگاه سنجش بافت (سنتام، ایران) انجام شد. ابتدا نمونه‌ای با قطر ۱ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر تهیه شد و از پروبی با قطر ۲/۵ سانتی‌متر و سرعت ۰/۸ میلی‌متر در ثانیه به منظور فشردن نمونه استفاده گردید. برای انجام این آزمون، درصد فشردگی ۵۰٪، تعداد سیکل ۲ عدد، سل بارگذار ۵-۵۰ کیلوگرم و Trigger force ۰/۰۵ نیوتن اعمال شد. از پروفیل به دست آمده، پارامترهای سختی، پیوستگی میان بافتی، قابلیت ارتجاع، میزان صمغی بودن و قابلیت جویدن استخراج گردید (Fernández-López *et al.*, 2006).

در مرحله دوم هیدروکلوئید نامبرده با همان غلظت قبلی بر اساس وزن خمیرآبه به آن افزوده و سپس نمونه‌ها با آرد سوخاری در سه اندازه ریز، متوسط و درشت پوشش داده شدند. سرخ کردن نمونه‌ها در دستگاه سرخ‌کن، به مدت ۹۰ ثانیه در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس انجام گرفت. تعدادی از نمونه‌ها برای انجام آزمایش به صورت خام نگهداری شدند. نمونه‌های تهیه شده تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انبارداری شدند.

ویسکوزیته خمیرآبه

ویسکوزیته خمیرآبه توسط دستگاه ویسکومتر (LVDV II, Brookfield، آمریکا) اندازه‌گیری شد. ابتدا به ۱۰۰ گرم خمیرآبه، ۳ گرم ایزوله پروتئین سویا افزوده شد و سپس با اسپیندل شماره ۲ و سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه، میزان ویسکوزیته این خمیرآبه و ویسکوزیته خمیرآبه فاقد ایزوله پروتئین سویا اندازه‌گیری شد (Nagaraju & Manohar, 2000).

جذب آرد سوخاری

میزان جذب آرد سوخاری از اختلاف وزن نمونه‌های ناگت قبل و بعد از پوشش‌دهی با آرد سوخاری محاسبه شد (Maskat *et al.*, 2004).

رطوبت

مقدار رطوبت ناگت‌های مرغ با توزین نمونه‌ها قبل و پس از قرارگیری در خشک‌کن انجام‌دهی به دست آمد.

$$(۲) \quad ۱۰۰ \times \frac{\text{وزن نمونه پس از خشک کردن} - \text{وزن اولیه نمونه}}{\text{وزن اولیه نمونه}} = (\%) \text{ محتوای رطوبت}$$

افت پخت

نمونه‌های ناگت قبل و بعد از سرخ شدن (دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ ثانیه) توزین شد و درصد افت پخت محاسبه گردید (Nayak *et al.*, 2015).

$$(۳) \quad ۱۰۰ \times (\text{وزن ناگت سرخ شده} - \text{وزن ناگت خام}) = \text{افت پخت}$$

تخلخل

به منظور ارزیابی تخلخل، تصویر نمونه‌های ناگت با استفاده از دستگاه اسکنر تهیه شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Image J ورژن ۱.۴۷، تصویر به حالت سیاه و سفید تبدیل شد. نقاط سیاه رنگ نشان‌دهنده خلل و فرج و نقاط سفید نشان‌دهنده قسمت‌های بدون تخلخل بودند. برای تعیین حد آستانه از الگوریتم اتسو^۱ استفاده شد و

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در نهایت برای ارزیابی نتایج از آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی استفاده گردید. آنالیز نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

قابلیت جذب آب ایزوله پروتئین سویا

در بین ویژگی‌های عملکردی متنوع هیدروکلوئیدها یکی از ویژگی‌های مهم و قابل توجه آن‌ها توانایی جذب و نگهداری آب به دلیل داشتن گروه‌های آب دوست در ساختارشان است (Holownia *et al.*, 2000). قابلیت جذب آب ایزوله پروتئین سویا در حالت جذب لحظه‌ای $66/53 \pm 2/51\%$ و جذب آهسته (پس از سه ساعت) $155/69 \pm 2/17\%$ به دست آمد. بر اساس نتایج، ایزوله پروتئین سویا می‌تواند به محض قرار گرفتن در معرض رطوبت حدود ۶۶٪ از آن را جذب کند که نشان‌دهنده قابلیت جذب رطوبت خروجی از محصول به هنگام فرایند سرخ کردن است. زمانی که فرصت بیشتری به این هیدروکلوئید برای جذب آب داده شد، قابلیت جذب آب آن به میزان قابل توجهی افزایش یافت. بدین ترتیب با اضافه کردن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه، زمان کافی برای جذب آب فراهم می‌گردد. جذب آب به وسیله رشته‌های پروتئین، آب آزاد موجود در محیط را کاهش داده و بدین ترتیب ویسکوزیته خمیرآبه به شدت افزایش می‌یابد. این افزایش ویسکوزیته به جذب بیشتر آرد سوخاری کمک خواهد نمود.

ویسکوزیته خمیرآبه

بر اساس نتایج به دست آمده افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه توانست اثر معنی‌داری بر افزایش ویسکوزیته داشته باشد، به طوری که ویسکوزیته خمیرآبه را از ۵۵ cp به ۸۰ cp افزایش داد. این تغییر ویسکوزیته می‌تواند در جذب مقدار بیشتری آرد سوخاری مؤثر باشد.

میزان جذب آرد سوخاری

بر اساس شکل ۱ با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری، از نظر وزنی مقدار آرد سوخاری بیشتری روی سطح ناگت‌ها قرار گرفت. این اثر را می‌توان به کاهش نسبت سطح به حجم با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری مرتبط دانست. همچنین ذرات آرد سوخاری درشت بهتر در خمیرآبه فرو می‌روند و جذب می‌شوند. اما ذرات آرد سوخاری ریز پوشش یکنواخت‌تری ایجاد می‌کنند (Owens, 2010).

همچنین نتایج نشان داد افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه توانست میزان جذب آرد سوخاری را نسبت به سایر تیمارها افزایش دهد که به نظر می‌رسد به دلیل افزایش ویسکوزیته و چسبندگی خمیرآبه باشد. Hsia و همکاران (۱۹۹۲)، گزارش کردند که با افزایش ویسکوزیته و چسبندگی خمیرآبه، مقدار وزنی لایه سوخاری افزایش می‌یابد.



شکل ۱- مقایسه مقدار جذب آرد سوخاری در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه. حروف بزرگ نشان دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < 0.05$).

همان‌گونه که در قسمت قبل اشاره شد، ایزوله پروتئین سویا دارای قابلیت جذب آب بالایی است که می‌تواند به هنگام فرایند سرخ شدن مانع از خروج رطوبت گردد. لذا سبب افزایش محتوای رطوبتی ناگت‌ها شود. افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری ریز توانست میزان رطوبت نمونه‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش دهد اما ترکیب این هیدروکلوئید با آرد سوخاری متوسط و درشت کمترین اثر را بر محتوای رطوبتی نمونه‌ها داشت (شکل ۲). این احتمال وجود دارد که با کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری و ایجاد پوشش یکنواخت بر روی سطح، از خروج رطوبت جلوگیری شده و فرصتی برای جذب رطوبت توسط ایزوله پروتئین سویا فراهم شود.

نتایج نشان داد استفاده از ایزوله پروتئین سویا در لایه سوخاری موجب افزایش قابل توجه محتوای رطوبتی ناگت نسبت به زمانی شد که این ترکیب به خمیرآبه افزوده شد (شکل ۲). Kim و همکاران (۲۰۱۱) با افزودن دو هیدروکلوئید به قطعات سب‌زمینی نشان دادند که میزان افزایش دما در قطعات پوشش داده شده با هیدروکلوئید پس از غوطه‌وری در روغن داغ کمتر از نمونه‌های شاهد است. بنابراین، دمای سطح در زمان‌های یکسان سرخ کردن در نمونه‌های پوشش داده شده کمتر از نمونه‌های شاهد است، که میزان تبخیر را کاهش خواهد داد.

رطوبت

بر اساس شکل ۲، بیشترین محتوای رطوبت در ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با ذرات آرد سوخاری ریز مشاهده شد. Maskat و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی‌های میکروسکوپی نشان دادند که بین ذرات آرد سوخاری با اندازه ریز به مقدار بیشتری در خمیرآبه فرو رفته که موجب تشکیل پوشش یکنواخت و متراکم‌تری روی خمیرآبه می‌شود. فرو رفتن ذرات آرد سوخاری در خمیرآبه، جذب آب توسط آن‌ها را تسهیل می‌سازد. این درحالی است که با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری، این ذرات کمتر در لایه خمیرآبه وارد شده و پوشش‌های غیرپیوسته‌تری ایجاد می‌شود. بنابراین آزاد شدن رطوبت به هنگام استفاده از آرد سوخاری درشت بیشتر از زمانی است که از آرد سوخاری با اندازه ذرات ریز استفاده می‌شود. علاوه بر این، یکی از عواملی که می‌تواند بر میزان جذب رطوبت ذرات آرد سوخاری تأثیر بگذارد، نسبت سطح به حجم این ذرات است (Suderman et al., 1983). ذرات آرد سوخاری ریز با نسبت سطح به حجم بیشتر در مقایسه با ذرات درشت می‌توانند رطوبت بیشتری را جذب کنند. این عامل ممکن است باعث افزایش رطوبت ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با ذرات آرد سوخاری ریز شود.

استفاده از هیدروکلوئیدها در لایه سوخاری می‌تواند موجب حفظ بیشتر محتوای رطوبتی در ناگت‌ها نسبت به نمونه‌های شاهد شود (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه محتوای رطوبت در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه. حروف بزرگ نشان دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < 0.05$).

ریزش آرد سوخاری افزایش یافته و نه تنها تاثیر منفی بر افت پخت دارد بلکه می‌تواند عملکرد سرخ‌کن‌های صنعتی را مختل سازد. استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری، افت پخت را کاهش داد. ریزش آرد سوخاری بیشتر در مراحل اولیه سرخ کردن اتفاق می‌افتد که در آن تبخیر ناگهانی رطوبت می‌تواند اتصال ضعیف آرد سوخاری از سطح محصول را بشکند (Maskat et al., 2005). کاهش تبخیر آب و مهاجرت رطوبت به دلیل قابلیت جذب آب ایزوله پروتئین سویا و همچنین کاهش مقدار ریزش آرد سوخاری از سطح ناگت به دلیل توانایی تشکیل ژل‌های چسبنده و فرو رفتن آرد سوخاری در این لایه از دلایل احتمالی کاهش افت پخت در نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا است. از آنجایی که این ترکیب می‌تواند چسبندگی و قوام زیادی ایجاد نموده و از خروج رطوبت جلوگیری نماید، استفاده از ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه می‌تواند میزان ریزش آرد سوخاری را به شدت کاهش دهد. هرچند، مقایسه افت پخت ناگت‌های مرغ به هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه نشان می‌دهد میزان افت پخت در ناگت‌های محتوی ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری کمتر از ناگت‌های دارای این هیدروکلوئید در خمیرآبه بود که می‌تواند به حفظ رطوبت در لایه مرزی و افزایش قابلیت اتصال ذرات آرد سوخاری در حضور ایزوله پروتئین سویا مربوط باشد

علاوه بر این، انتقال حرارت از روغن به ماده غذایی روی سطح غذا حباب بخار آب ایجاد می‌کند. با افزودن هیدروکلوئیدها به سطح محصول، حباب بخار آب بیشتری تولید می‌شود که می‌تواند یک لایه مقاوم در برابر انتقال حرارت را تشکیل دهد (Costa et al., 1999). این در حالی است که حضور ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه ممکن است در تغییر درجه حرارت لایه سوخاری تأثیر نداشته باشد که می‌تواند سرعت انتقال حرارت به خمیرآبه را افزایش دهد. بنابراین، انتقال رطوبت از خمیر به لایه سوخاری و سپس به روغن سرخ کردنی افزایش می‌یابد

افت پخت

در ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز، افت پخت بیشتری مشاهده شد و با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری میزان افت پخت کاهش یافت (شکل ۳). در محصولات سوخاری، افت پخت باید به‌عنوان تابعی از خروج رطوبت از محصول، میزان ریزش آرد سوخاری و مقدار جذب روغن در نظر گرفته شود (Saguy, 1995). با توجه به نتایج، اگرچه میزان جذب روغن در نمونه‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز نسبت به سایر تیمارها کمتر و محتوای رطوبتی در آن‌ها بیشتر بود، با این حال بیشترین افت پخت در این تیمارها به‌دست آمد (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد با کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری، میزان



شکل ۳- مقایسه افت پخت در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه.

حروف بزرگ نشان دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < 0.05$).

نمونه‌های شاهد شد که به دلیل قابلیت جذب و حفظ مقادیر بیشتر آب توسط این هیدروکلوئید و کاهش خروج رطوبت است. ضیائی فر و همکاران (۲۰۱۰)، دریافتند که در دماهای بالاتر سرخ کردن، آب با سرعت بیشتری تبخیر شده و تخلخل افزایش می‌یابد (Ziaifar et al., 2010). همانگونه که قبلاً اشاره شد افزودن هیدروکلوئید به لایه پوشش دهنده می‌تواند دمای سطحی و در نتیجه افت رطوبت را کاهش دهد. بنابراین در ناگت‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا تخلخل کمتری مشاهده می‌شود.

با مقایسه میزان تخلخل ناگت‌های مرغ حاوی ایزوله پروتئین سویا در لایه سوخاری و خمیرآبه می‌توان دریافت که استفاده از این ترکیب در لایه سوخاری در کاهش میزان تخلخل مؤثرتر است (شکل ۴). ایزوله پروتئین سویا با جلوگیری از حذف رطوبت، میزان تخلخل را کاهش می‌دهد. توجه به این نکته ضروری است که حضور هیدروکلوئید در لایه مرزی و جایی که تبادل جرم به شدت انجام می‌گیرد تاثیر قابل توجهی بر کاهش خروج رطوبت و در نتیجه ایجاد حفرات در ناگت خواهد داشت.

تخلخل

مکانیسم تشکیل تخلخل هنگام سرخ کردن توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. Pinthus و همکاران (۱۹۹۵) پیشنهاد کردند که در حین سرخ کردن، آب از قسمت‌های داخلی به سطح ماده غذایی حرکت کرده و سپس به صورت بخار از سطح تبخیر می‌شود. با این حال، تمام رطوبت نمی‌تواند از سطح تبخیر شود. مقداری از آب در حفرات به دام افتاده و با تخریب دیواره حفرات، موجب افزایش تخلخل می‌شود.

همانگونه که در شکل ۴ می‌توان مشاهده نمود با کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری از میزان تخلخل کاسته شد. تخلخل رابطه مستقیمی با خروج رطوبت دارد (Ziaifar et al., 2010). همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، آرد سوخاری با اندازه ریز قادر به ایجاد پوششی یکنواخت در سطح ناگت است. تشکیل این پوشش یکنواخت به‌عنوان مانعی در برابر خروج زیاد رطوبت عمل کرده و در نتیجه میزان تخلخل را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، استفاده از ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه و سوخاری موجب کاهش تخلخل نسبت به



شکل ۴- مقایسه تخلخل در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه.

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < 0.05$).

است که بر اساس آن حین فرایند سرخ کردن، آب به بخار تبدیل شده و خلل و فرجی را در بافت ماده غذایی ایجاد می‌کند که می‌تواند با روغن پر شود و بنابراین با کاهش خروج رطوبت، جذب روغن کاهش خواهد یافت (Rice et al., 1989). با توجه به نتایج حاصل از بررسی محتوای رطوبت (شکل ۲)، ناگت‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز دارای رطوبت بیشتری بودند که نشان‌دهنده خروج کمتر رطوبت به هنگام سرخ

میزان جذب روغن

بیشترین جذب روغن در ناگت‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری درشت و کمترین جذب روغن در ناگت‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز مشاهده شد (شکل ۵) که می‌تواند به دلیل پوشش‌دهی یکنواخت‌تر و حفظ رطوبت بیشتر ذرات ریز نسبت به ذرات متوسط و درشت باشد. یکی از مکانیسم‌های جذب روغن، تئوری جایگزینی آب

فشار مویینه کم به وجود می‌آورد که مقدار کمی روغن در این حفرات به دام می‌افتد (Mellema, 2003).

به کار بردن ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری، تاثیر بیشتر و قابل ملاحظه‌تری در کاهش جذب روغن داشت (شکل ۵). افزایش ضخامت پوسته، کاهش خروج رطوبت و کاهش تخلخل از دلایل اصلی تاثیر بر جذب روغن به هنگام استفاده از این هیدروکلوئید در لایه سوخاری هستند.

کردن و همچنین کاهش فضاهای خالی و خلل و فرج برای نفوذ روغن است.

افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه نیز به همان دلایل ذکر شده، توانست جذب روغن را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. استفاده از هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون خمیرآبه موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و هیدروکلوئیدها شده و با افزایش حفظ رطوبت، جذب روغن را کاهش می‌دهد (Akdeniz *et al.*, 2006). همچنین ایجاد پیوندهای عرضی و تشکیل ژل‌های حرارتی، تعداد کمی حفرات بزرگ با



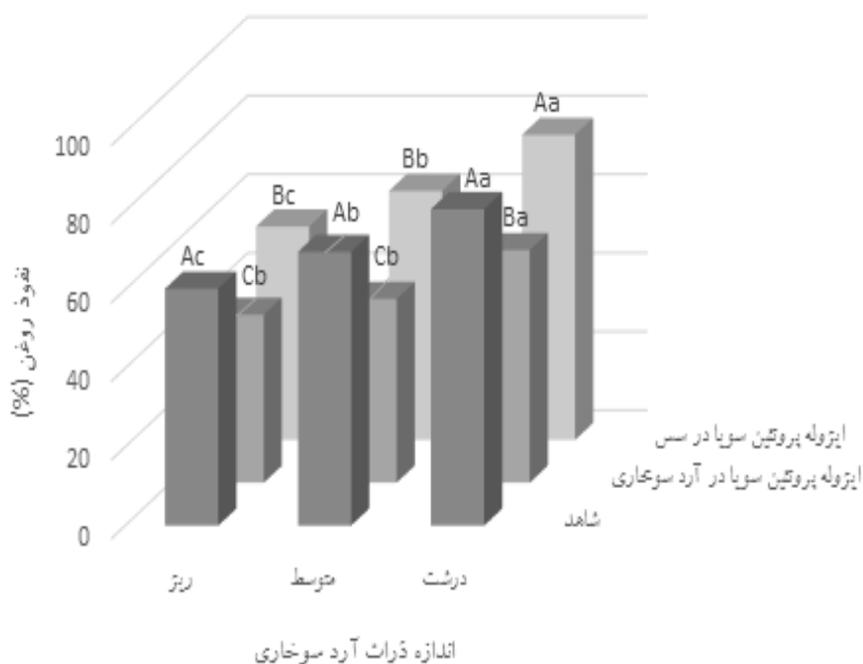
شکل ۵- مقایسه جذب روغن در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه. حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < 0.05$).

در نتیجه با به وجود آمدن خلل و فرج بیشتر میزان نفوذ روغن به داخل بافت افزایش یافته است. در بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تیمار شده با ایزوله پروتئین سویا، کمترین میزان نفوذ روغن در ناگت‌های تیمار شده با ایزوله پروتئین سویا به دست آمد. ظرفیت نگهداری آب زیاد این هیدروکلوئید، حفظ رطوبت در داخل بافت (شکل ۱) و کاهش میزان تخلخل (شکل ۴) می‌تواند در کاهش نفوذ روغن مؤثر باشد. در بررسی میزان نفوذ روغن در ناگت‌های مرغ به هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه، اختلاف قابل توجهی مشاهده گردید. بر این اساس میزان نفوذ روغن با افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری به صورت معنی‌داری کمتر بود (شکل ۶). در واقع، حضور این هیدروکلوئید در لایه سوخاری با جلوگیری از خروج رطوبت و کاهش انتقال جرم، میزان نفوذ روغن را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

نفوذ روغن

از آنجایی که به هنگام فرایند سرخ کردن ساختارهای متخلخلی تشکیل می‌شود که روغن می‌تواند در آن‌ها نفوذ کند، با افزایش اندازه این حفرات، روغن می‌تواند به راحتی خارج شده و میزان جذب روغن کاهش یابد. بنابراین ضروری است که علاوه بر اندازه گیری جذب روغن، میزان نفوذ روغن به بافت ماده غذایی نیز اندازه‌گیری شود.

طبق شکل ۶، هم در حالت افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری و هم به خمیرآبه، کمترین میزان نفوذ روغن در ناگت‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز مشاهده شد که به نظر می‌رسد آرد سوخاری ریز به علت پوشش‌دهی یکنواخت‌تر، حفظ رطوبت بیشتر و کاهش تخلخل به کاهش نفوذ روغن کمک کرده است و با افزایش اندازه ذرات به دلیل پوشش‌دهی غیریکنواخت، خروج رطوبت بیشتر و



شکل ۶- مقایسه نفوذ روغن در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه. حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < 0.05$).

جدول ۱). علت تفاوت در شدت روشنایی را به شکست نور در حد فاصل ذرات آرد سوخاری نسبت داد که با افزایش اندازه ذرات، پراکنش نور بیشتر رخ داده و رنگ تیره‌تر خواهد شد.

رنگ
ناگت‌های پوشش داده شده با اندازه ذرات ریز، روشنایی بیشتری داشتند و با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری میزان روشنایی کاهش یافت

جدول ۱- رنگ ناگت‌های مرغ تهیه شده با اندازه‌های مختلف آرد سوخاری و به هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه

نوع نمونه	اندازه ذرات آرد سوخاری	محل افزودن هیدروکلونید	L* value	a* value	b* value
شاهد	ریز	-	۴۶/۱۱ ± ۰/۵۵ ^{Ba}	۱۶/۱۳ ± ۰/۳۳ ^{Bb}	۳۳/۴۵ ± ۰/۴۱ ^{Aa}
	متوسط	-	۳۷/۸۷ ± ۱/۸۳ ^{Cb}	۱۹/۳۸ ± ۱/۰۴ ^{Aa}	۳۰/۹۴ ± ۰/۴۳ ^{Bb}
	درشت	-	۳۵/۹۷ ± ۲/۰۲ ^{Bb}	۱۳/۶۹ ± ۰/۱۵ ^{Cc}	۲۷/۴۶ ± ۱/۷۲ ^{Bc}
حاوی ایزوله پروتئین سویا	ریز	آرد سوخاری	۴۸/۹۲ ± ۱/۲۳ ^{Aa}	۱۷/۹۸ ± ۰/۱۹ ^{Aa}	۳۵/۲۲ ± ۰/۸۴ ^{Aa}
	متوسط	خمیرآبه	۴۸/۳۸ ± ۰/۳۹ ^{Aa}	۱۵/۵۹ ± ۰/۷۰ ^{Bc}	۳۳/۵۹ ± ۱/۳۹ ^{Aa}
	درشت	آرد سوخاری	۴۷/۴۹ ± ۰/۳۵ ^{Aa}	۱۴/۴۵ ± ۰/۷۰ ^{Bb}	۳۳/۶۷ ± ۰/۱۲ ^{Ab}
شاهد	ریز	خمیرآبه	۴۲/۴۵ ± ۱/۰۱ ^{Bb}	۲۰/۵۱ ± ۰/۸۷ ^{Aa}	۲۹/۴۳ ± ۰/۹۴ ^{Bb}
	متوسط	آرد سوخاری	۴۱/۱۶ ± ۰/۱۳ ^{Ab}	۱۵/۱۹ ± ۰/۳۱ ^{Bb}	۳۰/۰۵ ± ۰/۰۴ ^{Ac}
درشت	خمیرآبه	۴۰/۶۶ ± ۴/۰۰ ^{Ab}	۱۸/۵۴ ± ۱/۶۷ ^{Ab}	۲۸/۰۱ ± ۳/۵۲ ^{ABb}	

حروف بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < 0.05$).

نکته قابل تامل در ناگت‌های مرغ سرخ شده، افزایش شدت روشنائی نمونه‌های ناگت در حضور ایزوله پروتئین سویا است. پوشش‌دهی ناگت‌ها با ایزوله پروتئین سویا موجب افزایش شدت قرمزی در آرد سوخاری‌های ریز و درشت شد که این پدیده را می‌توان به دلیل کاراملیزاسیون در حضور این هیدروکلوئید دانست. همچنین با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری از شدت قرمزی نمونه‌ها کاسته شد. بر اساس جدول ۱ با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری از میزان زردی کاسته شد. در بررسی اثر هیدروکلوئید بر رنگ مشخص شد، ناگت‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا بیشترین میزان زردی و ناگت‌های فاقد هیدروکلوئید کمترین میزان زردی را داشتند. به نظر می‌رسد این هیدروکلوئید با شرکت در واکنش‌هایی مانند کاراملیزاسیون و مایلارد سبب افزایش زردی شده است

آنالیز پروفیل بافتی

بر اساس نتایج، بیشترین میزان سفتی در ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز مشاهده شد و با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری این خصوصیت کاهش یافت (جدول ۲). Kerr و Maskat (۲۰۰۴) با بررسی میکروسکوپ الکترونی ناگت‌های تولید شده با اندازه‌های مختلف آرد سوخاری نشان دادند که به هنگام استفاده از آرد سوخاری با اندازه ذرات

ریز، شبکه پیوسته‌ای بین لایه سوخاری و خمیرآبه شکل گرفت. در پوشش‌هایی که با اندازه ذرات متوسط تهیه شدند، ذرات آرد سوخاری قابل مشاهده تر بود و زمانی که از آرد سوخاری با اندازه ذرات درشت استفاده شد، شبکه پیوسته‌ای مشاهده نشد و به جای آن ساختارهایی تشکیل شد که ذرات درشت آرد سوخاری را به یکدیگر متصل می‌کرد. آن‌ها این تفاوت را به میزان ترکیب ذرات آرد سوخاری و خمیرآبه نسبت دادند. در واقع به هنگام پوشش‌دهی ناگت با خمیرآبه و سوخاری و سپس سرخ کردن، آرد سوخاری با اندازه ذرات ریز، آب بیشتری جذب کرده و در خمیرآبه فرو می‌رود تا پوششی یکنواخت به وجود آورد. فرایند مشابهی در آرد سوخاری‌های ریز و درشت اتفاق می‌افتد اما میزان ذراتی که در خمیرآبه فرو می‌روند کمتر است. با توجه به اینکه آرد سوخاری ریز می‌تواند در خمیرآبه فرو برود و لایه پیوسته‌ای را تشکیل دهد، بنابراین با کاهش اندازه ذرات بر میزان سفتی ناگت‌ها افزوده خواهد شد. همچنین Mohamed و همکاران (۱۹۹۸) مشاهده کردند که هرچه محتوای روغن کاهش یابد، میزان سفتی بافت محصولات سرخ شده افزایش خواهد یافت. با نگاهی به نتایج حاصل از محتوای چربی می‌توان دریافت که محتوای چربی در نمونه‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز به صورت معنی‌داری کمتر از سایر نمونه‌هاست که خود می‌تواند موجب افزایش سفتی گردد.

جدول ۲- ویژگی‌های بافتی ناگت‌های مرغ تهیه شده با اندازه‌های مختلف آرد سوخاری و به هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه

نوع نمونه	اندازه ذرات آرد سوخاری	محل افزودن هیدروکلوئید	سفتی (نیوتن)	قابلیت ارتجاع (میلی متر)	پیوستگی میان بافتی	صمغی بودن (گرم)	قابلیت چوبیدن (گرم×میلی متر)
شاهد	ریز	-	۶۳/۳۱ ± ۲/۴۷Aa	۰/۶۳ ± ۰/۰۲Aa	۰/۴۵ ± ۰/۰۳Ab	۲۶/۹۵ ± ۰/۴۶Ab	۱۷/۶۶ ± ۰/۴۷Aa
	متوسط	-	۵۴/۳۲ ± ۲/۵۱Ab	۰/۶۴ ± ۰/۰۳Aa	۰/۵۲ ± ۰/۰۲Aa	۲۸/۴۴ ± ۰/۳۴Aa	۱۸/۱۵ ± ۰/۹۴Aa
	درشت	-	۵۱/۱۳ ± ۳/۶۴Ac	۰/۶۵ ± ۰/۰۳Aa	۰/۵۲ ± ۰/۰۱Aa	۲۵/۲۹ ± ۰/۶۵Ac	۱۷/۵۸ ± ۱/۱۱Aa
ایزوله پروتئین سویا	ریز	آرد سوخاری	۶۴/۳۹ ± ۲/۳۷Aa	۰/۶۲ ± ۰/۰۱Ab	۰/۴۴ ± ۰/۰۱Ab	۲۷/۵۶ ± ۱/۳۲Aa	۱۶/۷۲ ± ۰/۰۳Aab
	متوسط	خمیرآبه	۳۳/۸۳ ± ۰/۳۷Ba	۰/۶۴ ± ۰/۰۴Aa	۰/۴۵ ± ۰/۰۱Aa	۱۴/۵۷ ± ۰/۲۱Ba	۹/۱۱ ± ۰/۱۳Ba
پروتئین سویا	ریز	آرد سوخاری	۵۴/۱۵ ± ۱Ab	۰/۶۶ ± ۰/۰۱Aa	۰/۴۵ ± ۰/۰۲Bb	۲۷/۷۲ ± ۰/۱۷Aa	۱۷/۵۶ ± ۱/۰۲Aa
	متوسط	خمیرآبه	۳۰/۰۲ ± ۱/۹۳Bab	۰/۵۸ ± ۰/۰۱Bb	۰/۴۵ ± ۰/۰۳Ba	۱۳/۴۴ ± ۰/۴۵Ba	۷/۸۸ ± ۰/۰۳Bb
	درشت	آرد سوخاری	۴۹/۸۸ ± ۱/۰۰Ac	۰/۶۶ ± ۰/۰۱Aa	۰/۴۷ ± ۰/۰۱Ba	۲۳/۶۳ ± ۰/۰۸Bb	۱۵/۶۷ ± ۰/۳۶Bb
		خمیرآبه	۲۷/۷۴ ± ۰/۸۳Bb	۰/۵۳ ± ۰/۰۸Bc	۰/۳۹ ± ۰/۰۱Cb	۱۱/۳۴ ± ۰/۷۷Cb	۵/۸۶ ± ۰/۳۳Cc

حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < 0/05$).

(۲۰۰۹) با غوطه‌ور کردن پاته مرغ سوخاری در محلول ایزوله پروتئین آب پنیر نتایج مشابهی را یافتند. آن‌ها این افزایش سفتی را به افزایش ضخامت پوسته مرتبط دانستند.

با توجه به نتایج قابلیت ارتجاع، در ناگت‌های شاهد اندازه ذرات آرد سوخاری اثری بر قابلیت ارتجاع نداشت، اما در ناگت‌های حاوی ایزوله

بر اساس جدول ۲، در حالتی که ایزوله پروتئین سویا در لایه سوخاری استفاده شد سفتی بافت بیشتری مشاهده شد که ممکن است به ارتباط معکوس بین سفتی بافت و میزان تخلخل بستگی داشته باشد، بنابراین در ناگت‌های مرغی که این هیدروکلوئید به لایه سوخاری اضافه شد به دلیل تخلخل کمتر، بافت سفت‌تر و متراکم‌تری مشاهده گردید. Mah و همکاران

نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده نشان داد، اندازه ذرات آرد سوخاری می‌تواند تاثیر به‌سزایی در ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی ناگت مرغ داشته باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، استفاده از آرد سوخاری ریز می‌تواند محاسن اقتصادی و تکنولوژیک خاصی به همراه داشته باشد به‌گونه‌ای که به میزان وزنی کمتری از این آرد سوخاری برای پوشش‌دهی کامل ناگت نیاز است. همچنین محصولاتی که با آرد سوخاری ریز پوشش داده شده بودند محتوای رطوبت بیشتر و افت پخت و جذب روغن کمتری داشتند. روغن در این محصولات به میزان کمتری نفوذ کرده که ناشی از تخلخل کمتر ناگت‌های تولید شده با این نوع آرد سوخاری است. کلیه این ویژگی‌ها می‌تواند از نظر اقتصادی، تغذیه‌ای و کیفی بسیار مورد توجه باشد. هرچند رنگ و بافت نیز تحت تاثیر اندازه ذرات آرد سوخاری تغییر یافته و در این رابطه می‌توان به افزایش سفتی، کاهش قابلیت ارتجاع و کاهش پیوستگی میان بافتی اشاره نمود که می‌تواند به‌عنوان تغییرات نامطلوب مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر ریزش بیشتر آرد سوخاری ریز نسبت به آرد سوخاری درشت، به هنگام سرخ کردن ناگت‌های مرغ یکی از نکاتی است که صنعت را در رابطه با تمیز کردن سرخ‌کن‌ها و کاهش سریع کیفیت روغن دچار مشکل می‌سازد. همان‌گونه که ذکر شد استفاده از هیدروکلوئیدها یکی دیگر از روش‌هایی است که می‌تواند موجب کاهش جذب روغن شود. در این تحقیق استفاده از ایزوله پروتئین سویا توانست به‌طور کلی محتوای رطوبت ناگت‌های مرغ را افزایش دهد و تاثیر به‌سزایی در کاهش افت پخت، جذب روغن، نفوذ روغن به داخل بافت و تخلخل محصول داشته باشد. این هیدروکلوئید توانست بافت و رنگ ناگت‌ها را تا حدودی تحت تاثیر قرار دهند و به‌طور خاص افزودن این هیدروکلوئید به خمیرآبه، ویژگی‌های بافتی را به شدت تغییر داد. نتایج همچنین نشان داد افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری بسیار موثرتر از افزودن آن به خمیرآبه بود. بر این اساس افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری با اندازه ریز برای تولید ناگت توصیه می‌گردد.

پروتئین سویا در آرد سوخاری، با کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری از قابلیت ارتجاع کاسته شد. در حالی که به هنگام افزودن این هیدروکلوئید به لایه، کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری توانست قابلیت ارتجاع را افزایش دهد. در توجیه این مشاهدات می‌توان به برهمکنش بین پروتئین و پلی‌ساکارید اشاره نمود. استفاده از ایزوله پروتئین سویا درصد پروتئین را در خمیرآبه افزایش می‌دهد. زمانی که آرد سوخاری ریز در لایه بیرونی ناگت به کار می‌رود، آرد سوخاری می‌تواند در خمیرآبه فرو رفته و در برهمکنش‌های پروتئین-پلی‌ساکارید شرکت نماید. این واکنش، شبکه ژل به‌وجود آمده در خمیرآبه را تقویت کرده و قابلیت ارتجاع را افزایش می‌دهد.

پیوستگی میان بافتی در ناگت‌های محتوی ایزوله پروتئین سویا، تحت تاثیر اندازه ذرات قرار نگرفت و تنها در ناگت‌های شاهد با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری، بر پیوستگی میان بافتی افزوده شد (جدول ۲). Lin و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که با کاهش رطوبت بر پیوستگی میان بافتی افزوده می‌شود. مقایسه نتایج میزان رطوبت و پیوستگی میان بافتی نیز نتایج مشابهی را نشان داد. به‌نظر می‌رسد با کاهش رطوبت، رشته‌های پروتئینی در ارتباط تنگاتنگ با یکدیگر موجب افزایش پیوستگی میان بافتی می‌شوند. افزودن ایزوله پروتئین سویا هم به آرد سوخاری و هم به خمیرآبه موجب کاهش پیوستگی میان بافتی نسبت به ناگت‌های شاهد گردید.

بر اساس جدول ۲، با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری، میزان صمغی بودن کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد چندین عامل از جمله محتوای چربی و رطوبت بر این ویژگی تاثیرگذار هستند. با افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری اختلاف معنی‌داری بین ویژگی صمغی بودن این نمونه‌ها با ناگت‌های شاهد مشاهده نشد، اما ترکیب این هیدروکلوئید با خمیرآبه توانست میزان صمغی بودن را نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش دهد. چندین عامل از جمله مقدار چربی و رطوبت محصول و قابلیت تشکیل ژل ایزوله پروتئین سویا می‌توانند بر میزان صمغی بودن مؤثر باشند.

قابلیت جویدن تحت تاثیر اندازه ذرات قرار نگرفت. همچنین، بین قابلیت جویدن ناگت‌های مرغ شاهد و ناگت‌های محتوی ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه توانست قابلیت جویدن را نسبت به ناگت‌های مرغ شاهد کاهش دهد (جدول ۲). ایجاد بافت نرم در خمیرآبه به واسطه حضور این هیدروکلوئید می‌تواند از دلایل تغییرات مشاهده شده باشد.

منابع

- Akdeniz, N., Sahin, S., & Sumnu, G. (2006). Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 522-526.
- Castleman, K. (1996). *Digital Image Processing*. Prentice Hall: Englewood Cliffs.
- Costa, R. M., Oliveira, F. A., Delaney, O., & Gekas, V. (1999). Analysis of the heat transfer coefficient during potato frying. *Journal of Food Engineering*, 39(3), 293-299.
- Dogan, S. F., 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(5-6), 502-508.
- Fernández-López, J., Jiménez, S., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., & Pérez-Alvarez, J. (2006). Quality characteristics of ostrich (*Struthio camelus*) burgers. *Meat Science*, 73(2), 295-303.
- Holownia, K., Chinnan, M., Erickson, M., & Mallikarjunan, P. (2000). Quality Evaluation of Edible Film-Coated Chicken Strips and Frying Oils. *Journal of Food Science*, 65(6), 1087-1090.

- Hsia, H., Smith, D., & Steffe, J. (1992). Rheological properties and adhesion characteristics of flour-based batters for chicken nuggets as affected by three hydrocolloids. *Journal of Food Science*, 57(1), 16-18.
- Int, A. O. A. C. (2007). Official methods of analysis. *AOAC International*.
- Kim, D. N., Lim, J., Bae, I. Y., Lee, H. G., & Lee, S. (2011). Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. *Journal of Food Engineering*, 102(4), 317-320.
- Kurt, Ş., & Kılınççeker, O. (2011). Performance optimization of soy and whey protein isolates as coating materials on chicken meat. *Poultry Science*, 90(1), 195-200.
- Lin, S., Huff, H., & Hsieh, F. (2000). Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture. *Journal of Food Science*, 65(2), 264-269.
- Liu, P., Xu, H., Zhao, Y., & Yang, Y. (2017). Rheological properties of soy protein isolate solution for fibers and films. *Food Hydrocolloids*, 64, 149-156.
- Mah, E., & Brannan, R. (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(1), S9-S16.
- Maltais, A., Remondetto, G. E., Gonzalez, R., & Subirade, M. (2005). Formation of soy protein isolate cold-set gels: Protein and salt effects. *Journal of Food Science*, 70(1), C67-C73.
- Maskat, M. Y., & Kerr, W. L. (2002). Coating characteristics of fried chicken breasts prepared with different particle size breading. *Journal of Food Processing and Preservation*, 26(1), 27-38.
- Maskat, M. Y., & Kerr, W. L. (2004). Effect of breading particle size on coating adhesion in breaded, fried chicken breasts. *Journal of food quality*, 27(2), 103-113.
- Maskat, M. Y., Yip, H. H., & Mahali, H. M. (2005). The performance of a methyl cellulose-treated coating during the frying of a poultry product. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(8), 811-816.
- Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science and Technology*, 14(9), 364-373.
- Mohamed, S., Hamid, N. A., & Hamid, M. A. (1998). Food components affecting the oil absorption and crispness of fried batter. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78(1), 39-45.
- Myers, A. S., & Brannan, R. G. (2012). Efficacy of fresh and dried egg white on inhibition of oil absorption during deep fat frying. *Journal of Food Quality*, 35(4), 239-246.
- Nagaraju, V., & Manohar, B. (2000). Rheology and particle size changes during Idli fermentation. *Journal of Food Engineering*, 43(3), 167-171.
- Nayak, N., Pathak, V., Singh, V., Goswami, M., & Bharti, S. (2015). Quality of Carrageenan Incorporated Low Fat Chicken Nuggets during Refrigerated Storage at 4 ° C. *Livestock Research International Journal*, 3, 7-13.
- Owens, C. M. (2010). Coated poultry products. In Owens, C. M., Alvarado, C. Z., Sams, A. R. *Poultry Meat Processing*, pp: 227-242. CRC Press, Boca Raton.
- Pinthus, E., WEINBERG, P., & Saguy, I. (1995). Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*, 60(4), 767-769.
- Rice, P., & Gamble, M. (1989). Modelling moisture loss during potato slice frying. *International Journal of Food Science and Technology*, 24(2), 183-187.
- Saguy, I. S. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. *Food Technology*, 49, 142-145,152.
- Sharifimehr, S., Soltanizadeh, N., Goli, S.A.H. (2019). Physicochemical properties of fried shrimp coated with bio-nano-coating containing eugenol and Aloe vera. *LWT*, 109, 33-39.
- Suderman, D. R., & Cunningham, F. E. (1983). *Batter and Breading*: AVI Pub. Co., Horwood.
- Tamsen, M., Shekarchizadeh, H., & Soltanizadeh, N. (2018). Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties. *LWT*, 91, 580-587.
- Ziaififar, A. M., Courtois, F., & Trystram, G. (2010). Porosity development and its effect on oil uptake during frying process. *Journal of Food Process Engineering*, 33(2), 191-212



Evaluation the role of breading particle size and soy protein isolate on physicochemical properties of chicken nugget

M. S. Sotoudeh¹, N. Soltanizadeh^{2*}

Received: 2019.08.14

Accepted: 2019.01.23

Introduction: Over the last few decades, development of the industrial life has remarkably increased the demand for consumption of ready-to-eat foods. Deep fat frying is a fast and conventional method for cooking and due to creating crispy surface, soft internal texture, desired color and taste has popularity among consumers. The main problem related to fried food products is the high oil absorption during deep fat frying that is harmful for human health and has negative effects on shelf life of the product. Therefore, the aim of this study was to investigate the role of breading particles size as well as the influence of addition of soy protein isolate in breading and batter layers on properties of chicken nugget.

Material and Methods: First, breading was divided to three particle sizes. Sieves with mesh size 40 (0.42 mm) and 60 (0.25 mm) were used for separation of small breading. Also, sieves with mesh size of 18 (1 mm) and 20 (0.84 mm) as well as 10 (2 mm) and 12 (1.68 mm) were used for preparation of breading with medium and large particle size, respectively. Three percent soy protein isolate was separately added to breading with particle size of small, medium and large and used for production of chicken nugget. Also, 3% soy protein isolate was added to batter mixture and then nuggets coated with three different breading particle size without soy protein isolate. Breading pick-up, moisture content, cooking loss, porosity, oil absorption and penetration, color and textural properties of the chicken nuggets were then evaluated.

Results and discussion: Based on the results, the coating of chicken nuggets with small breading size led to the product with the highest moisture content and lowest porosity, oil uptake, oil penetration and shear force. However, chicken nuggets coated with small breading size had the highest breading loss. After incorporation of soy protein isolate to breading, the highest hardness and lowest springiness, cohesiveness and gumminess were related to the nuggets coated with small breading size, however, chewiness was not affected by breading particle size. Breading with small particle size containing soy protein isolate caused the highest L*, a* and b* values in fried chicken nuggets. Addition of soy protein isolate to breading layer significantly caused a decrease in cooking loss, porosity, oil absorption and penetration ($p < 0.05$). These samples had higher moisture content than the control sample. After addition of soy protein isolate to batter layer, color of chicken nugget did not considerably change ($p > 0.05$). The effect of soy protein isolate on textural properties is dependent on breading particles size. Generally, the addition of this compound to batter layer decreased hardness, gumminess and chewiness; however, its effect on springiness and cohesiveness is dependent on breading particle size. The presence of soy protein isolate in batter layer increased moisture content which in turn could diminish porosity, cooking loss, oil absorption, and oil penetration ($p < 0.05$). Overall, the comparison between chicken nugget properties when soy protein isolate was added to breading or batter layer indicated that the presence of the protein in breading layer was more effective in retention of moisture, reducing of cooking loss, porosity, oil absorption and oil penetration. However, these samples had more hardness, gumminess and chewiness compared to those containing soy protein isolate in batter layer. Cohesiveness of chicken nugget containing soy protein isolate in breading was not significantly different with those produced with the compound in batter layer.

The production of chicken nugget with small breading size containing 3% soy protein isolate in batter layer was proposed for production of products with better nutritional and physicochemical properties.

Keywords: Soy protein Isolate, Chicken nugget, Breading, Batter.

1. Graduated M. SC. degree and Associate professor of Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, 84156-83111, Iran.

(*Corresponding Author Email: soltanizadeh@iut.ac.ir)

مقاله علمی - پژوهشی

اسانس پونه: ترکیبات شیمیایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و اثر سایتوتوکسیک آن بر

رده سلولی HT29

هادی تناور¹ - حسن برزگر^{2*} - بهروز علیزاده بهبهانی³ - محمد امین مهرنیا³

تاریخ دریافت: 1398/09/28

تاریخ پذیرش: 1398/10/25

چکیده

گیاه پونه با نام علمی *Mentha pulegium* متعلق به خانواده نعناعیان است. در این پژوهش پس از استخراج اسانس به روش تقطیر با آب، ترکیبات شیمیایی اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی شناسایی شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس پونه به روش‌های بررسی توانایی مهارکنندگی رادیکال DPPH و ABTS و همچنین میزان مقاومت در برابر اکسیداسیون لینولئیک اسید و تغییر رنگ بتاکاروتن بررسی شد. سنجش میزان ترکیبات فنلی کل با استفاده از روش فولین سیوکالتو محاسبه گردید. تعیین میزان فلاونوئید در روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید صورت گرفت. اثر سایتوتوکسیک اسانس پونه در غلظت‌های مختلف اسانس (1، 3/125، 6/25، 12/5، 25، 50، 100 و 200 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) در برابر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29) با استفاده از روش MTT بررسی شد. نتایج نشان داد که اسانس پونه دارای 25 ترکیب است که عمده‌ترین ترکیبات شیمیایی موجود در آن شامل دی‌ال - لیمونن 28/44%، دی - کارون 18/76%، اوکالیپتول 8/86% و پولگون 8/65% بود. میزان مهار رادیکال‌های آزاد اسانس پونه با DPPH و ABTS به ترتیب 51/5% و 53/43% بود. میزان مقاومت اسانس پونه در برابر اکسیداسیون لینولئیک اسید و تغییر رنگ بتاکاروتن برابر با 59/22 درصد بود. میزان فنل کل اسانس و فلاونوئید به ترتیب برابر با 73/35 میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم اسانس و 19/9 میلی‌گرم کوئرستین بر کی‌والان بود. نتایج اثر سایتوتوکسیک اسانس پونه نشان داد که درصد زنده‌مانی سلول‌های HT29 به ترتیب 100، 70/21، 61/26، 51/98، 35/12، 24/44، 18/65 و 10/92 بود. براساس نتایج به‌دست آمده با افزایش غلظت اسانس پونه، تاثیر بر رده سلولی HT29 افزایش یافته و درصد زنده‌مانی سلول‌های HT29 کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: اسانس پونه، بتاکاروتن لینولئیک اسید، فلاونوئید کل، کروماتوگرافی گازی.

مقدمه

آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیباتی هستند که با جذب رادیکال‌های آزاد به خود موجب کند کردن سرعت اکسیداسیون و یا حذف آن‌ها شده و به این ترتیب بدن را از آثار نامطلوب رادیکال‌های آزاد حفظ می‌کنند (اخباری و همکاران، 1394). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به‌طور طبیعی در بدن افراد وجود دارند و باعث حفظ فشار اکسیداتیو می‌شوند، به این صورت که همواره میان تولید رادیکال‌های آزاد و عملکرد ترکیبات آنتی‌اکسیدانی تعادل برقرار است (کامکار، 1388). در بسیاری از موارد به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و یا اختلال در عملکرد ترکیبات آنتی‌اکسیدانی این تعادل برهم خورده، لذا نیاز است تا از مواد غذایی به‌عنوان منبع تامین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی استفاده شود (زربان و همکاران، 1383). آنتی‌اکسیدان‌ها به دو صورت سنتزی و طبیعی در دسترس هستند (شهرسواری و همکاران، 1387). در صنعت غذا از آنتی‌اکسیدان‌های

رادیکال آزاد، به اتم یا مولکولی که دارای مولکول‌ها یا اتم‌هایی حاوی الکترون جفت‌نشده در لایه الکترونی هستند گفته می‌شود. این ترکیبات به دلیل ناقص بودن لایه آخر الکترونی خود میل ترکیبی بالایی از خود نشان می‌دهند و پیوسته به بیومولکول‌های طبیعی بدن نظیر اسیدنوکلئیک، پروتئین و اسیدهای آمینه حمله کرده و موجب اختلال در عملکرد آن‌ها می‌شوند (زربان و همکاران، 1383). فعالیت رادیکال‌های آزاد و محصولات حاصل از اکسیداسیون آن‌ها موجب آثار نامطلوب حسی و تغذیه‌ای مانند ایجاد بد طعمی، نابودی ویتامین‌ها و تخریب اسیدهای چرب ضروری می‌گردند. این ترکیبات با تولید ترکیبات سمی و آسیب به ماده ژنتیک سلولی، سبب بیماری‌های قلبی و عروقی و انواع سرطان‌ها نیز می‌شوند (کامکار و همکاران، 1390).

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

DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.84722

1، 2 و 3 - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

از لحاظ عدم سمیت و ایمنی مورد ارزیابی قرار گیرند. سرطان کولون به تکثیر بیش از حد سلول‌های روده بزرگ گفته می‌شود و درمان آن با وجود متاستازهای فراوان مشکل است (نصیری و همکاران، 1396). این نوع سرطان سومین سرطان رایج در دنیا است (یونسی و همکاران، 1396). برای درمان سرطان کولون از روش‌هایی مانند جراحی، شیمی درمانی و پرتو درمانی استفاده می‌کنند که اثر بخشی آن‌ها قابل ملاحظه نبوده و عوارض جانبی مانند نابودی سلول‌های سالم را نیز به همراه دارند (خلیلی و همکاران، 1395). در پژوهش‌های اخیر به نقش ترکیبات دارویی با منشاء گیاهی مانند اسانس‌ها که فاقد عوارض جانبی هستند اشاره شده است (پیروزمند و همکاران، 1397). هدف از پژوهش حاضر، شناسایی ترکیبات شیمیایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، فلاونوئید کل و سمیت سلولی اسانس پونه بر رده سلولی سرطان کولون روده (HT29) بود.

مواد و روش‌ها

تمامی مواد مورد نیاز شامل: رادیکال DPPH⁴ (سیگما-آلد ریچ، آمریکا)، بتاکاروتن لینولئیک اسید (سیگما-آلد ریچ، آمریکا)، رادیکال کاتیون ABTS⁵ (سیگما-آلد ریچ، آمریکا)، پرسولفات سدیم (مرک آلمان)، معرف فولین سیوکالتو (مرک، آلمان)، کربنات سدیم (سامچون، کره)، الکل 96 درصد (زکریای چهارم)، متانول (مرک، آلمان)، نیتريت سدیم (سام چونگ، کره)، آلومینیوم تری کلراید (یونی، چم)، سود (مرک، آلمان)، محیط کشت DMEM⁶ (سیگما-آلد ریچ، آمریکا)، DMSO⁷ (مرک، آلمان) و بوتیل هیدروکسی تولوئن (سیگما-آلد ریچ، آمریکا) خریداری شدند.

تهیه اسانس

اسانس پونه با نام علمی *Mentha pulegium* از شرکت جوهره طعم مشهد (مشهد، خراسان رضوی) تهیه شد. لازم به ذکر است نحوه استخراج اسانس به روش تقطیر با آب صورت گرفت.

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس پونه با استفاده از GS-

MS

تزریق 1 میکرولیتر اسانس پونه به دستگاه کروماتوگرافی گازی⁸ (Agilent Technologies 7890 A) با ستونی به طول 30 متر، قطر داخلی 0/25 میلی‌متر و ضخامت لایه داخلی 0/25 میکرومتر (Agilent)

سنتزی مانند BHA¹ و BHT² به‌عنوان نگهدارنده جهت افزایش عمر نگهداری مواد غذایی و جلوگیری از آثار نامطلوب اکسیداسیون استفاده می‌شود (برزگر و همکاران، 1397 و اخباری و همکاران، 1394). امروزه با پیشرفت علم و انجام پژوهش‌های جدید در ایمن و بی‌خطر بودن استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی تردیدهایی ایجاد شده و اقبال عمومی به مواد طبیعی و گیاهی که در کنار داشتن آثار آنتی‌اکسیدانی قوی فاقد عوارض جانبی باشند بیش از ترکیباتی سنتزی شده است (بهنام و همکاران، 1392). گیاهان دارویی از جمله موادی هستند که مصرف آن‌ها در بسیاری از جوامع به‌خصوص در کشور ایران به دلیل ویژگی‌های دارویی، ایجاد خاصیت نگهدارندگی مطلوب در مواد غذایی و ایجاد عطر و طعم مناسب رواج یافته است. می‌توان گفت که تقریباً تمامی روغن‌های ضروری استخراج شده از گیاهان دارویی توانایی مهار رادیکال‌های آزاد را دارند، لذا مطالعه جهت یافتن گیاهان با بیش‌ترین اثر آنتی‌اکسیدانی امری ضروری محسوب می‌شود (کامکار و همکاران، 1390). این ترکیبات به‌صورت متابولیت‌های ثانویه در گیاهان تولید شده و شامل موادی مانند فلاونوئید، تانن و آنتوسیانین‌ها می‌شوند (طباطبایی یزدی و همکاران، 1397). در بسیاری از پژوهش‌های پیشین بیان شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی رابطه معنی‌داری با میزان ترکیبات فنلی گیاهان دارد. میزان این ترکیبات به عوامل گوناگونی مانند شرایط محیطی، جنس و گونه گیاه و شرایط رشد و برداشت بستگی دارد (کامکار، 1388). ترکیبات فنلی با داشتن قابلیت احیاکنندگی و شلاته‌کنندگی خود مانع اثر نامطلوب رادیکال‌های آزاد بر بافت ماده غذایی و بدن انسان می‌شوند و بدین صورت آثار نامطلوب اکسیداسیون را کاهش می‌دهند (مولودی و همکاران، 1397).

Mentha pulegium L. یکی از گونه‌های پونه محسوب می‌شود و در خانواده نعناعیان قرار دارد (اصلانی و همکاران، 1392). پولگون³ از مهم‌ترین ترکیبات آن می‌باشد که موجب عطر و طعم تند نعناعی در گیاه می‌شود (غلامی پورناکی و همکاران، 1396). اثر آنتی‌اکسیدانی این گیاه به اثبات رسیده است، در بسیاری از پژوهش‌های پیشین این اثر را به ترکیبات فنولیک مرتبط دانسته‌اند. این احتمال وجود دارد که ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گیاه پونه با اختلال در عملکرد رادیکال‌های آزاد موجب حفظ ماده ژنتیک و پروتئین‌ها از تاثیرات نامطلوب شوند (پژوهی و همکاران، 1389).

یکی از عوارضی که مصرف مواد غذایی ناسالم در بدن ایجاد می‌کند سرطان است. لذا این مسئله ایجاد می‌کند تا تمام مواد غذایی

5 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

6 Dulbecco's Modified Eagle Medium

7 Dimethyl sulfoxide

8 Gas Chromatography-Mass Spectrometry

1 Butylated hydroxyanisole

2 Butylated hydroxytoluene

3 Pulegone

4 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

بررسی پتانسیل آنتی‌اکسیدانی به روش بتاکاروتن-لینولئیک اسید

قدرت آنتی‌اکسیدانی اسانس پونه در این روش با استفاده از میزان مقاومت در برابر اکسیداسیون لینولئیک اسید و تغییر رنگ بتاکاروتن توسط رادیکال‌های آزاد مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از این روش از تولید ترکیبات فرار و هیدروپراکسیدهای کونژوگه جلوگیری می‌شود (Alizadeh Behbahani *et al.*, 2019). فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها با استفاده از معادله 3، محاسبه گردید.

$$= \text{درصد بازدارندگی}$$

$$(3) \quad \frac{\text{جذب کنترل بعد از 120 دقیقه} - \text{جذب نمونه بعد از 120 دقیقه}}{\text{جذب کنترل بعد از 120 دقیقه}} \times 100$$

تعیین فنل کل

سنجش میزان ترکیبات فنلی کل با استفاده از روش فولین سیوکالتو محاسبه گردید. برای این منظور ابتدا غلظت‌های 1000، 10000، 12000 و 14000 از اسانس پونه با کمک الکل 96% تهیه شد. 1 میلی‌لیتر از هر کدام از غلظت‌های گفته شده به 2/5 میلی‌لیتر معرف فولین 10% افزوده گردید. پس از گذشت 2/5 دقیقه، 2 میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم 7/5% به نمونه‌ها افزوده شد و مواد به‌خوبی با هم ترکیب شدند. میزان جذب نمونه‌ها پس از سپری شدن 1 ساعت در طول موج 725 نانومتر قرائت گردید. میزان ترکیبات فنلی کل با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید و برحسب میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم اسانس بیان شد (دهقان و همکاران، 1397).

ترکیبات فلاونوئیدی

تعیین میزان فلاونوئید به کمک روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید صورت گرفت. 1 میلی‌لیتر از اسانس خالص به 75 میکرولیتر نیتريت سدیم 5% افزوده و به مدت 6 دقیقه انکوبه گردید. پس از گذشت زمان فوق 150 میکرولیتر آلومینیوم تری کلراید 10% اضافه و 5 دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. در نهایت پس از افزودن 1 میلی‌لیتر سود 1 مولار میزان جذب در طول موج 510 نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان فلاونوئید موجود در اسانس بر حسب میلی‌گرم کوئرستین بر کی‌والان گزارش گردید (Hossain and Rahman., 2011., Barzegar *et al.*, 2019).

سمیت سلولی

اثر سمیت سلولی اسانس پونه در برابر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29) با استفاده از روش MTT اندازه‌گیری شد. سلول‌ها در محیط DMEM حاوی قند بالا (10% حجمی/حجمی)، پنی‌سیلین و استرپتومایسین در دمای 37 درجه سانتی‌گراد، 5% دی‌اکسیدکربن

(Technologies Inc., HP-5 MS) متصل به طیف‌نگار جرمی (Agilent Technologies 5975) جهت شناسایی ترکیبات اسانس استفاده شد. دمای ابتدایی ستون 40 درجه سانتی‌گراد تنظیم شد که با نرخ رشد 2/5 درجه سانتی‌گراد بر دقیقه تا 250 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. از گاز هلیوم به‌عنوان حامل با سرعت 1/1 میلی‌لیتر در دقیقه و انرژی یونیزاسیون 70 الکترون ولت استفاده گردید. با استفاده از طیف نرمال آلکان‌ها، شاخص بازدارنی آن‌ها و رجوع به فرهنگ ترکیبات طبیعی شناسایی نوع ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس پونه صورت پذیرفت (Alizadeh Behbahani and Fooladi., 2018).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس پونه

بررسی توانایی مهارکنندگی رادیکال DPPH

در این روش قابلیت احیا کردن ترکیبات اکسیدکننده توسط اسانس پونه به‌وسیله ارزیابی میزان بی‌رنگ شدن محلول بنفش معرف 2،2-دی فنیل-1-پیکریل هیدرازیل اندازه‌گیری شد. ابتدا 1 میلی‌لیتر از اسانس خالص پونه به 3 میلی‌لیتر معرف 2،2-دی فنیل-1-پیکریل هیدرازیل 0/1 میلی‌مولار افزوده گردید. نمونه‌ها به مدت 30 دقیقه در دمای محیط و محفظه تاریک قرار داده شدند. بعد از سپری شدن زمان فوق میزان جذب نمونه‌ها در طول موج 517 نانومتر قرائت گردید. از متانول به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد (Brand-Williams *et al.*, 1995). میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از معادله 1، محاسبه شد.

$$(1) \quad \frac{\text{جذب نمونه اسانس} - \text{جذب نمونه کنترل}}{\text{جذب نمونه کنترل}} \times 100 = \text{فعالیت حذف‌کنندگی رادیکال آزاد}$$

بررسی توانایی مهارکنندگی رادیکال ABTS

در این آزمون ابتدا یک محلول 7 میلی‌مولار ABTS در آب تهیه شد و با نسبت 1:1 با محلول 2/45 میلی‌مولار پرسولفات سدیم مخلوط گردید. جهت تولید رادیکال‌های کاتیونی ABTS محلول حاصل به مدت 16 ساعت در دمای محیط و تاریکی قرار داده شد. پیش از شروع آزمون محلول ABTS⁺ با متانول تا جذب 0/7±0/2 در طول موج 734 نانومتر رقیق شد. سپس 0/1 میلی‌لیتر از اسانس پونه و 3/9 میلی‌لیتر از محلول رقیق شده ABTS با هم مخلوط شدند. میزان جذب نمونه پس از گذشت 6 دقیقه در طول موج 734 نانومتر خوانده شد (Shan *et al.*, 2005). درصد فعالیت حذف رادیکال با استفاده از معادله 2، محاسبه گردید.

$$(2) \quad \frac{\text{جذب نمونه اسانس} - \text{جذب نمونه شاهد}}{\text{جذب نمونه شاهد}} \times 100 = \text{درصد جذب رادیکال}$$

(2018) اثر روش‌های خشک کردن بر بازده و ترکیب شیمیایی اسانس پونه بومی کشور مصر را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران 14 ترکیب شیمیایی از اسانس پونه را شناسایی کردند که در این بین پولگون 57/8%، منتون 9/5% و لیمونن 6/9% از عمده‌ترین ترکیبات شناسایی شده بودند. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد نوع و میزان ترکیب‌های شناسایی شده اسانس پونه در پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌های انجام شده دارای تفاوت‌هایی بود. بسیاری از پژوهشگران دلیل این تفاوت‌ها را به عواملی همانند شرایط آب و هوایی رشد گیاه، زمان و نوع کشت، نوع ترکیبات خاک منطقه، گونه گیاه، فصل برداشت گیاه، نحوه خشک کردن و استحصال اسانس ذکر کرده‌اند.

جدول 1- ترکیبات شیمیایی اسانس پونه با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی

شماره	نام ترکیبات تشکیل دهنده	درصد
1	α -Pinene	3/26
2	Camphene	0/44
3	Sabinene	2/07
4	β -Pinene	4
5	β -Myrcene	1/46
6	dl-Limonene	28/44
7	Eucalyptol	8/86
8	γ -Terpinene	0/21
9	Linalool	0/63
10	Menthone	1/75
11	Borneol	0/55
12	Levomenthol	6/02
13	Neodihydrocarveol	6/45
14	Pulegone	8/65
15	D-Carvone	18/76
16	Bornyl acetate	0/17
17	Dihydrocarvyl acetate	0/49
18	β -Bourbonene	0/94
19	Caryophyllene	3/09
20	α -Humulene	0/41
21	Epi-bicyclosquiphellandrene	0/26
22	Germacrene	0/45
23	Bicyclogermacrene	0/13
24	Naphthalene	0/2
25	Caryophyllene oxide	0/21
کل		97/9

انکوبه شدند. میزان 10^5 سلول به هر چاهک اضافه گردید. سپس محیط کشت DMEM، 200 میکرولیتر سرم جنینی گاو و رقت‌های (1، 12/5، 6/25، 3/125، 25، 50، 100 و 200 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اسانس) به چاهک‌ها اضافه شد. تکثیر سلولی با استفاده از 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium بعد از گذشت 24 ساعت به صورت زیر صورت گرفت. 30 میکرولیتر از محلول MTT با غلظتی برابر با 5 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به تمام چاهک‌ها افزوده و صفحات به مدت 3 ساعت در انکوباتور دی‌اکسیدکربن نگهداری شدند. پس از حذف محیط 200 میکرولیتر DMSO به هر چاهک اضافه شد و میزان جذب در طول موج 570 نانومتر با استفاده از دستگاه الیزاریدر قرائت گردید. با استفاده از سلول‌های کنترل منحنی زنده‌مانی سلولی ترسیم گشت (Alizadeh Behbahani et al., 2019).

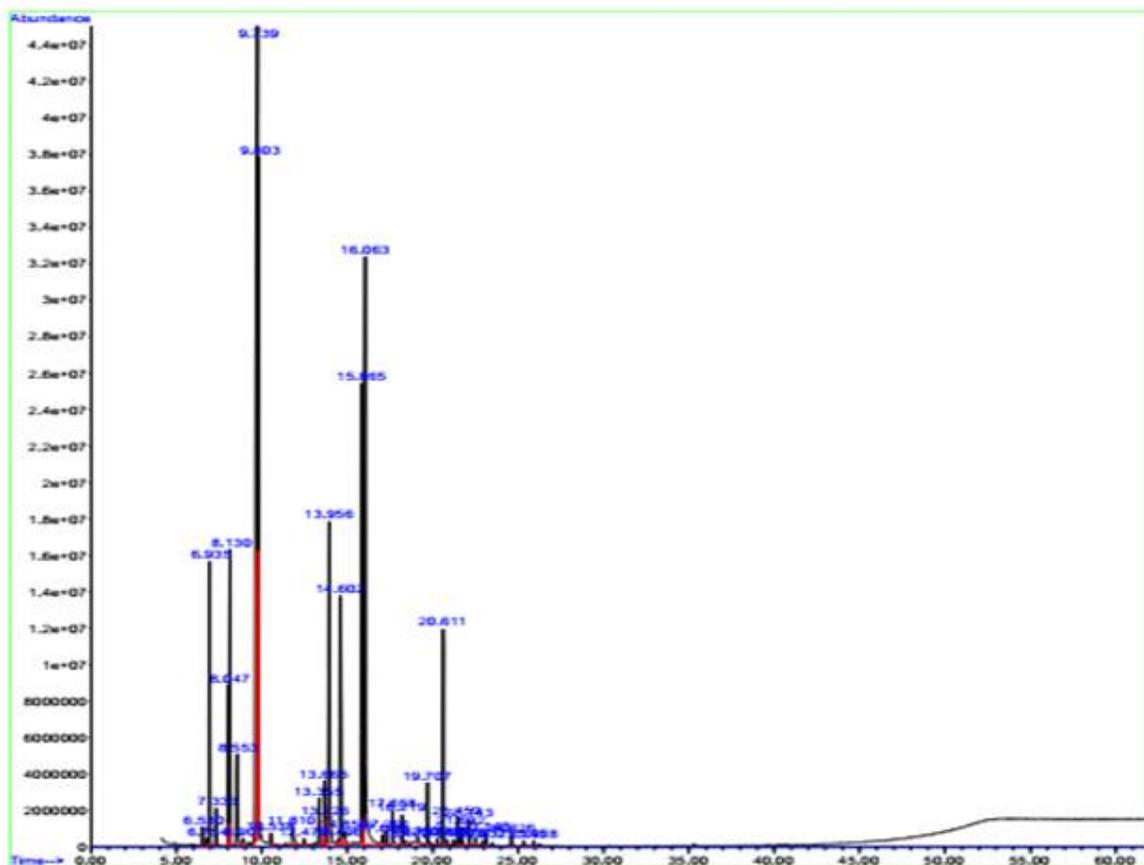
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه، با استفاده از SPSS جهت آنالیز داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس پونه

با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی 25 ترکیب از اسانس پونه شناسایی شد که نام و درصد هر کدام از این ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در جدول 1، ذکر شده است. عمده‌ترین ترکیبات شیمیایی موجود در اسانس پونه شامل دی‌ال-لیمونن 28/44%، دی-کارون 18/76% اوکالیپتول 8/86% و پولگون 8/65% بود. اخباری و همکاران (1394)، با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی ترکیبات عصاره پونه کوهی را شناسایی کردند. دی-کارون 57/2% و لیمونن 15/7% اجزای عمده شناسایی شده بودند. Mahboubi and Hagi (2008)، عمده‌ترین ترکیبات اسانس پونه را منتول 40/6-51/6%، منتون 7/3-20%، 1 و 8-سینئول و پولگون 11/1-18/5% و پولگون 3/9-7% ذکر کردند. Marzouk و همکاران (2008)، ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس پونه را با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی شناسایی کرده و پیریتون 38%، پیریتون 33%، منتون 3% و پولگون 2/3% را به‌عنوان عمده‌ترین ترکیبات تشکیل‌دهنده آن معرفی کردند. Teixeira و همکاران (2012) مطالعاتی جهت شناسایی ترکیبات شیمیایی و قدرت آنتی‌اکسیدانی اسانس پونه کشور پرتغال انجام دادند و 53 ترکیب متفاوت از این اسانس گیاهی شناسایی کردند که منتون 35/9%، پولگون 23/2% و نئومنتون 9/2% بیش‌ترین فراوانی را در میان سایر ترکیبات شناسایی شده داشتند. Ahmed و همکاران



را ارزیابی کرده و قدرت آنتی‌اکسیدانی پونه را در غلظت 10 میکرولیتر در میلی‌لیتر 66/88% گزارش کردند. Sbayou و همکاران (2016) خواص آنتی‌اکسیدانی چندین گونه گیاهی از جمله اسانس پونه را مورد ارزیابی قرار دادند و توانایی این اسانس در مهار اکسیداسیون را 69% گزارش کردند. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی داشت.

فنل کل اسانس پونه

میزان ترکیبات فنلی اسانس پونه با استفاده از روش فولین سیو کالتو و تکیه بر این واقعیت که قدرت آنتی‌اکسیدانی با ترکیبات فنلی رابطه مستقیم دارد اندازه‌گیری شد (برزگر و همکاران، 1398). نتایج آزمون در جدول 2، ذکر شده است. میزان ترکیبات فنلی از جایگزینی جذب محلول اسانس پونه با غلظت 1000 پی‌پی‌ام در $y = 0/0132x + 0/1843$ معادله $y = 0/0132$ محاسبه شد. قادرمرزی و همکاران (1394)، به‌منظور ارزیابی اسانس پونه کوهی بر ویژگی‌های فیلم خوراکی هیدروکسی پروپیل سلولز میزان ترکیبات فنلی این اسانس را اندازه‌گیری کردند. نتایج حاصل نشان داد که در غلظت 50 گرم بر لیتر میزان این ترکیبات برابر با 276/5 میلی‌گرم بر لیتر نمونه می‌باشد. Teixeira و همکاران (2012) میزان ترکیبات فنلی اسانس پونه را 0/7 میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن نمونه گزارش دادند. Ghazghazi و همکاران (2013) در پژوهش خود میزان ترکیبات فنلی اسانس پونه را 43/4 میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک گزارش نمودند. Fatiha و همکاران (2015) ویژگی‌های شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی چندین اسانس گیاهی از جمله پونه را مورد ارزیابی قرار دادند و میزان ترکیبات فنلی آن را 6/1 میلی‌گرم گالیک اسید به گرم وزن خشک گیاه گزارش کردند. Politeo و همکاران (2018) میزان ترکیبات فنلی عصاره آبی و متانولی گیاه پونه متعلق به کشور بوسنی را به ترتیب 124/27 و 157/92 میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک گیاه گزارش کردند.

ترکیبات فلاونوئیدی اسانس پونه

فلاونوئیدها از جمله مشتقات ترکیبات فنلی محسوب می‌شوند. این ترکیبات باتوجه به وجود گروه هیدروکسیل در ساختار خود به‌عنوان عوامل احیا کننده با قدرت بالا در نظر گرفته می‌شوند که توانایی مهار رادیکال‌های آزاد را دارند. فلاونوئیدها همچنین توانایی تشکیل کمپلکس با ترکیبات پروتئینی از جمله آنزیم‌های موثر در اکسیداسیون نظیر لیپواکسیژناز و الکل دهیدروژناز را دارند و به این صورت در فرآیند اکسیداسیون اختلال ایجاد می‌کنند (یاری و همکاران، 1395). نتایج مربوط به شناسایی ترکیبات فلاونوئیدی در جدول 2، ذکر شده است. با استفاده از روش ذکر شده در این پژوهش ترکیبات فلاونوئیدی در اسانس پونه، 19/9 میلی‌گرم کوئرستین بر اکی‌والان اندازه‌گیری شد. Ghazghazi و همکاران (2013) در نتایج خود میزان ترکیبات

این پژوهشگران نشان داد که میزان قدرت آنتی‌اکسیدانی اسانس بر حسب IC_{50} برابر با 16/03 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. Ahmed و همکاران (2018) اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به روش DPPH مورد ارزیابی قرار دادند و بیان کردند اسانس پونه خشک شده توسط آون در دمای 50 درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین اثر مهارکنندگی را از خود نشان داد. Politeo و همکاران (2018) قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره آبی و متانولی پونه بومی کشور بوسنی را با استفاده از روش DPPH اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها وجود ندارد.

اصول کلی تعیین قدرت آنتی‌اکسیدانی اسانس با استفاده از رادیکال ABTS به این صورت است که ابتدا با استفاده از پتاسیم پرسولفات، ABTS را در معرض اکسیداسیون قرار می‌دهیم تا رادیکال $ABTS^+$ ایجاد شود (اکبری و همکاران، 1397). در نهایت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی اسانس پونه رادیکال‌های تولیدی $ABTS^+$ را مهار کرده و رنگ محلول از سبزی‌آبی اولیه به محلولی بی‌رنگ تغییر پیدا می‌کند. قدرت آنتی‌اکسیدانی این اسانس گیاهی با ثبت تغییرات کاهش جذب به‌وسیله دستگاه طیف‌سنجی تعیین گردید (طاهانزاد و همکاران، 1391). نتایج این آزمون در جدول 2، آورده شده است. Alpsoy و همکاران (2011) قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره پونه را 0/97 میلی‌مول ترولکس بر گرم وزن خشک نمونه گزارش کردند Ghazghazi و همکاران (2013) قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره متانولی و اسانس پونه را توسط این روش به ترتیب 44 و 0/14 میکروگرم بر میلی‌لیتر بر حسب IC_{50} بیان کردند. Fatiha و همکاران (2015) مطالعاتی بر ترکیبات شیمیایی و خواص آنتی‌اکسیدانی سه گونه پونه *Mentha pulegium*، *Mentha spicata* و *Mentha rotundifolia* انجام دادند. نتایج مربوط به فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش ABTS این سه جنس پونه به ترتیب 10/3، 30/2 و 40/4 میکروگرم ترولکس بر میلی‌لیتر اسانس بر حسب IC_{50} گزارش شد.

اساس روش بتاکاروتن - لینولئیک مقاومت در برابر بی‌رنگ شدن ترکیب بتاکاروتن است (شهسواری و همکاران، 1387). تغییر رنگ بتاکاروتن در اثر برهمکنش آن با رادیکال‌های آزاد تولیدی در واکنش هیدروپراکسید لینولئیک اسید است. وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی سرعت این تغییر رنگ را کاهش می‌دهد که به‌وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر ثبت می‌گردد (کامکار و همکاران، 1390). مطابق با نتایج حاصل از این آزمون که در جدول 2، ذکر شده است اسانس پونه 59/22% از اکسیداسیون جلوگیری به عمل آورد. Kamkar و همکاران (2010)، مطالعاتی بر قدرت آنتی‌اکسیدانی اسانس پونه بومی ایرانی انجام دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که قدرت آنتی‌اکسیدانی این اسانس گیاهی به روش بتاکاروتن - لینولئیک اسید قابل ملاحظه نبوده و توانست 26% از اکسیداسیون جلوگیری عمل آورد. Cherrat و همکاران (2013) قدرت آنتی‌اکسیدانی چندین گونه گیاهی از جمله پونه

ارزیابی نتایج سمیت سلولی

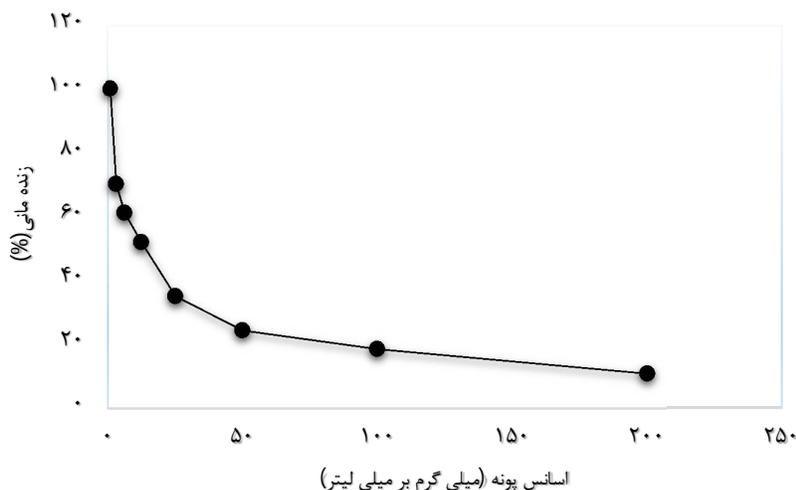
نتایج مربوط به آزمون MTT و اثر غلظت‌های مختلف اسانس پونه بر سلول‌های سرطانی HT29 در شکل 2، نشان داده شده است. در این آزمون از غلظت‌های 1، 3/125، 6/25، 12/5، 25، 50، 100 و 200 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اسانس پونه استفاده شد. درصد زنده‌مانی سلول‌های HT29 به ترتیب 100، 70/21، 61/26، 51/98، 35/12، 24/44 و 18/65 بود.

بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش غلظت اسانس پونه، تاثیر بر رده سلولی HT29 افزایش پیدا کرد و درصد زنده‌مانی سلول‌های HT29 کاهش یافت. بیش‌ترین اثر سمیت سلولی در غلظت 200 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و در مقابل کم‌ترین اثر در غلظت 1 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر مشاهده شد. اصلانی و همکاران (1392)، اثر سیتوتوکسیک عصاره هیدروالکلی پونه را بر سلول‌های سرطانی K562 در غلظت‌های 12/5، 25، 50 و 100 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و زمان‌های 24، 48 و 72 ساعت مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثر سمیت سلولی پونه به غلظت و زمان بستگی دارد. بیش‌ترین اثر اسانس در غلظت 50 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در 72 ساعت گزارش شد. Shirazi و همکاران (2004) سمیت سلولی ایجاد شده عصاره و اسانس پونه را بر سلول‌های سرطانی HeLa، A549 و SKOV3 مورد ارزیابی قرار دادند.

فلاونوئیدی موجود در عصاره پونه را 29/3 بر حسب میلی‌گرم کوئرستین به گرم ماده خشک گیاه بیان کردند. Fatiha و همکاران (2015) ترکیبات فنلی سه گونه پونه شامل *Mentha rotundifolia*، *Mentha pulegium* و *Mentha sicata* را اندازه‌گیری کردند. بیش‌ترین مقدار ترکیبات فلاونوئیدی در گونه *Mentha rotundifolia* مشاهده شد. Politeo و همکاران (2018) میزان ترکیبات فلاونوئیدی عصاره آبی و متانولی پونه بومی کشور مصر را اندازه‌گیری کردند. بر اساس نتایج به دست آمده میزان این ترکیبات در عصاره آبی و متانولی به ترتیب 12/7 و 18/58 بر حسب میلی‌گرم کوئرستین به گرم پونه بود.

جدول 2- نتایج آزمون‌های شیمیایی اسانس پونه

نتایج	آزمون شیمیایی
73/35	فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید/گرم اسانس)
19/9	فلاونوئید (میلی‌گرم کوئرستین/کی‌والان)
51/5	DPPH (%)
53/43	ABTS (%)
59/22	بتاکاروتن -لینولئیک اسید (%)
11/2	بوتیل هیدروکسی تولون ($\mu\text{g/ml}$)
0	کنترل



شکل 2- اثر غلظت‌های مختلف اسانس پونه بر رده سلولی HT29.

سرطان تخمدان C13، سلول‌های سرطان کبد HepG2 و سلول‌های سرطان ریه A549 مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش قابل توجه سلول‌های C13 در غلظت‌های بیش از 2/5 و سلول‌های HepG2 و A549 در غلظت‌های 2/5 تا 10 میکروگرم بر میلی‌لیتر عصاره متانولی پونه صورت گرفت. Rocha و همکاران (2019) از

نتایج نشان داد که عصاره پونه تاثیر چندانی نداشته است اما اسانس این گیاه دارای اثرات قابل توجهی بوده و به‌عنوان عامل بالقوه سمی بر رده‌های سلولی سرطانی انسان معرفی شد. Nikounezhad و همکاران (2014) گیاه پونه را به‌عنوان یک ماده ضدسرطانی مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش اثر سمیت سلولی عصاره پونه بر سلول‌های

نگهدارنده‌های سنتزی مطرح کرد و از آن در صنعت غذایی بهره برد. با وجود سمیت سلولی و خواص ضدسرطانی اسانس پونه پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های گسترده‌تری روی این گیاه در صنعت داروسازی جهت درمان سرطان و ناراحتی‌های گوارشی صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد می‌باشد، لذا نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

ترکیبات فنلی استخراج شده گیاه پونه جهت درمان اختلالات و بیماری‌های التهابی روده استفاده کردند. نتایج نشان داد که گیاه پونه موجب مهار سلول‌های سرطانی HT29 شد و از تهاجم و تکثیر این سلول‌های سرطانی جلوگیری به عمل آورد. Ouakouak و همکاران (2019) گزارش کردند که اسانس *Mentha citrata* دارای اثر سایکوتوکسیک مناسبی در برابر سلول‌های سرطانی روده بزرگ HCT116 و سلول‌های کبدی HepG2 داشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر اسانس پونه دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی مناسبی بود. لذا گیاه پونه را که منبع طبیعی داشته و فاقد عوارض جانبی می‌باشد را می‌توان به‌عنوان جایگزینی برای

منابع

- آخاری، م.، آقاجانی، ز.، کریمی، ا. و مازوچی، ا. 1394. بررسی ترکیبات شیمیایی اسانس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌میکروبی ترکیبات روغنی گیاه *Mentha Longifolia*. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی - مولکولی، 6(21)، 59-66.
- اصلانی، ا.، نقش، ن. و رنجبر، م. 1392. بررسی اثر سمیت سلولی عصاره هیدروالکلی گیاه پونه در مرحله قبل از گل‌دهی بر لاین سلولی سرطان خون (K562). مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک، 16(10)، 1-10.
- اکبری، م.، صادقی ماهونک، ع.ر.، سرابندی، خ. و قربانی، آ. 1397. ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی عصاره چای سبز ریزپوشانی شده به روش هم‌تبلوری. مجله علوم و صنایع غذایی، 15(85)، 179-193.
- برزگر، ح.، عزیزاده بهبهانی، ب. و مهرنیا، م.ا. 1398. شناسایی ترکیبات شیمیایی و فعالیت ضدباکتریایی اسانس ریحان سبز و برهمکنش آن با آنتی‌بیوتیک‌های تتراسایکلین و کلرامفنیکل بر تعدادی از ریزاندامگان عامل عفونت و مسمومیت غذایی. مجله علوم و صنایع غذایی، 90(16)، 113-125.
- برزگر، ح.، مهرنیا، م.ا. و عزیزاده بهبهانی، ب. 1397. تعیین ترکیبات شیمیایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و اثر ضد میکروبی اسانس گلپر برفی بر میکروارگانیسم‌های عامل عفونت و مسمومیت غذایی. فصلنامه میکروبیولوژی کاربردی در صنایع غذایی، 4(4)، 15-28.
- بهنام، ب. و علی اکبرلو، ج. 1392. اثر آنتی‌اکسیدانی اسانس آویشن شیرازی و پونه کوهی روی گوشت مرغ نگهداری شده در دمای 4 درجه سانتی‌گراد. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، 23(4)، 533-543.
- پژوهی، م.ر.، تاجیک، ح.، آخوندزاده، ا.، گندمی، ح.، احسانی، ع. و شکوهی ثابت جلالی، ف. 1389. ارزیابی ترکیبات شیمیایی و فعالیت ضد میکروبی اسانس پونه کوهی (*Mentha Longifolia L.*) و دانه زیره سبز (*Cuminum cyminum (L.)*) به تنهایی و توأم با نیسین. مجله پزشکی ارومیه، 21(4)، 324-331.
- پیروزمند، س.، موسوی، ز.، میرزایی، ا. و روستاییان، ع. 1397. بررسی ترکیبات شیمیایی اسانس گیاه هلیکریزوم آرمیزیبیوتیدس، اثرات ضد میکروبی و سمیت سلولی آن بر روی رده سلولی سرطان کولون و آنالیز بیان ژن‌های آپوپتوزی با روش PCR. مجله دانشگاه علوم پزشکی قم، 12(3)، 18-9.
- خلیلی، ح. و باغبانی آرانی، ف. 1396. سنتز سبز نانو ذرات نقره با استفاده از عصاره گیاه درمنه (*Artemisia (tschernieviana)*) و بررسی سمیت سلولی آن روی رده‌های سلولی سرطانی کولون (HT29) و نرمال (HEK2). مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، 25(2)، 100-91.
- دهقان، ن.، برزگر، ح.، مهرنیا، م.ا. و جوینده، ح. 1397. بررسی اثر افزودن عصاره متانولی پوست سبز بنه (*Pistacia atlantica*) بر پایداری اکسایشی روغن سویا. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، 5(3)، 507-499.
- زرزیان، ا.، ملکانه، م.، حسن‌پور، م.، تجاری، م.ت. و آباد، م. 1383. ارزیابی خواص آنتی‌اکسیدانی 28 مورد از گیاهان دارویی ایران. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، 11(1)، 5-13.

- شهبسواری، ن.، برزگر، م.، سحری، م.ع. و نقدیادی، ح.ع. 1387. بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس گیاه آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.) در روغن سویا. فصلنامه گیاهان دارویی، 4(28)، 56-68.
- صبور، ع.، دامهر، خ. و رنجبر، م. 1392. سنجش محتوای فنل و فلاونوئید تام و بررسی خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره ساقه و برگ 6 گونه میخک وحشی (*Dianthus L.*) ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، 29(2)، 295-281.
- طاهانژاد، م.، برزگر، م.، سحری، م.ع. و نقدی بادی، ح.ع. 1391. ارزیابی فعالیت آنتی‌رادیکالی عصاره پنیرک (*Malva sylvestris L.*) و کاربرد آن در سامانه روغن. فصلنامه گیاهان دارویی، 2(42)، 86-97.
- طباطبایی یزدی، ف.، علیزاده بهبهانی، ب.، وسیعی، ع.، مرتضوی، س.ع. و شهیدی، ف. 1395. ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فیتوشیمیایی و ضد میکروبی اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) بر جمعیت ریزاندامگان عامل مسمومیت و عفونت غذایی. مجله علوم و صنایع غذایی، 15(76)، 67-76.
- غلامی پورناکی، پ.، آقازاده، م. و صادقی، م.ر. 1396. بررسی ترکیب شیمیایی و فعالیت ضد میکروبی اسانس پونه کوهی (*Mentha pulegium*) منطقه ماکو و اثر مهاری آن بر روی استافیلوکوکوس اورئوس در سوسیس. تحقیقات دامپزشکی و فرآورده‌های بیولوژیک، 117، 69-77.
- قادر مزی، ر.، کرامت، ج. و حسین گلی، س.ا. 1394. تأثیر اسانس پونه کوهی بر ویژگی‌های فیلم خوراکی هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، 2(3)، 61-74.
- کامکار، ا. 1388. مطالعه فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس و عصاره شوید ایرانی. فصلنامه دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی گناباد، 15(2)، 11-17.
- کامکار، ا.، شریعتی فر، ن.، جمشیدی، ا.ح.، جبلی جوان، ا.، صادقی، ط. و ضیغم‌منفرد، م.م. 1390. مطالعه فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس و عصاره پونه (*Mentha longifolia*) ایرانی در شرایط آزمایشگاهی. فصلنامه گیاهان دارویی، 1(8)، 185-194.
- مولودی، ف.، علیزاده خالدآباد، م.، محمودی، ر. و رضازاد باری، م. 1397. ترکیبات شیمیایی، خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی اسانس گیاه مرزنجوش بخارایی (*Origanum vulgare ssp. gracile*) در محیط آزمایشگاهی. مجله دانشگاه علوم پزشکی بابل، 20(10)، 36-44.
- نصیری، ر.، زارع کاریزی، ش.، حیاتی رودباری، ن. و فرهادیار، ن. 1396. بررسی سمیت سلولی نانوذره اکسید سربیم روی رده سلولی سرطان کولون HT29 و آنالیز بیان ژن‌های آپوپتوزیسی کاسپاز 3 و 9. مجله سلول و بافت، 3(8)، 294-303.
- یاری، س.، کریمان، ر. و اسدیگی، م. 1395. محتوای فنل و فلاونوئید کل در عصاره گونه *Meristotropis xanthioides vassilcz.* و اثر حفاظتی آن بر مسمومیت کبدی القا شده با اتانول. مجله سلول و بافت، 7(3)، 323-333.
- یونس، ب.، میرزایی، ا. و عسگری، ع. 1396. بررسی اثرات سمیت سلولی و آپوپتوزیسی داروی اگزالی پلاتین بر روی رده سلولی سرطان کولون (HT29) و آنالیز بیان ژن‌های آپوپتوزیسی کاسپاز 3 و کاسپاز 9 توسط روش Real Time PCR. مجله سلول و بافت، 8(4)، 364-374.
- Ahmed, A., Ayoub, K., Jamali Chaima, A., Hanaa, L. & Abdelaziz, C., 2018. Effect of drying methods on yield, chemical composition and bioactivities of essential oil obtained from Moroccan *Mentha pulegium L.* *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16(12), 638-643.
- Alizadeh Behbahani, B. & Fooladi, AAI., 2018. Evaluation of phytochemical analysis and antimicrobial activities allium essential oil against the growth of some microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 114, 299-303.
- Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M. & Falah, F., 2019. Cumin essential oil: phytochemical analysis, antimicrobial activity and investigation of its mechanism of action through scanning electron microscopy. *Microbial Pathogenesis*, 136, 1-6.
- Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M. & Falah, F., 2019. Study of chemical structure, antimicrobial, cytotoxic and mechanism of action of syzygium aromaticum essential oil on foodborne pathogens. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13(1), 875-883.
- Alpsoy, L., Sahin, H. & Karaman, S., 2011. Anti-oxidative and anti-genotoxic effects of methanolic extract of *Mentha pulegium* on human lymphocyte culture. *Toxicology and Industrial Health*, 27(7), 647-654.
- Barzegar, H., Alizadeh behbahani, B. & Mehrnia, M.A., 2019. Quality retention and shelf life extension of fresh beef using *Lepidium sativum* seed mucilage-based edible coating containing *Heracleum lasiopetalum* essential oil: an experimental and modeling study. *Food Science and Biotechnology*, 1-12, doi: 10.1007/s10068-019-00715-4.
- Brahmi, F., Hauchard, D., Guendouze, N., Madani, K., Kiendrebeogo, M., Kamagaju, L., St'evigny, C., Chibane, M. & Duez, P., 2015. Phenolic composition, in vitro antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian *Mentha* species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (*Lamiaceae*). *Industrial Crops and Products*, 74, 722-730.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.

- Cherrat, L., Espina, L., Bakkali, M., Pagán, R. & Laglaoui, A., 2013. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of *Mentha pulegium*, *Lavandula stoechas* and *Satureja calamintha* scheele essential oils and an evaluation of their bactericidal effect in combined processes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 221-229.
- Ghazghazi, H., Chedia, A., Weslati, M., Trakhna, F., Houssine, S., Abderrazak, M. & Brahim, H., 2013. Chemical composition and in vitro antimicrobial activities of *Mentha pulegium* leaves extracts against foodborne pathogens. *Journal of Food Safety*, 33, 239-246.
- Hossain, M.A. & Rahman, S.M.M., 2011. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineapple. *Food Research International*, 44, 672-676.
- Kamkar, A., Jebelli Javan, A., Asadi, F. & Kamalinejad, M., 2010. The antioxidative effect of iranian *Mentha pulegium* extracts and essential oil in sunflower oil. *Food and Chemical Toxicology*, 48(7) 1796-1800.
- Mahboubi, M. & Haghi, G., 2008. Antimicrobial activity and chemical composition of *Mentha pulegium* L. essential oil. *Journal of Ethnopharmacology*, 119(2), 325-327.
- Marzouk, B., Ben Hadj Fredj, M., Chraief, I., Mastouri, M., Boukef, K. & Marzouk, Z., 2008. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from tunisian *Mentha pulegium* L. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6(1), 78-82.
- Nikounezhad, N., Shirazi, F.H. & Kamalinejad, M., 2014. Relative cytotoxicity of fractionated extract of arial parts of *Mentha Pulegium* on three cancer cell lines. *American Journal of Pharmtech Research*, 4(6), 214-223.
- Ouakouak, H., Benchikha, N., Hassani, A. & Ashour, M.L., 2019. Chemical composition and biological activity of *Mentha citrate* Ehrh., essential oils growing in southern algeria. *Journal of Food Science and Technology*, 56(12), 5346-5353.
- Politeoa, O., Bektašević, M., Carev, I., Jurin, M. & Roje, M., 2018. Phytochemical composition, antioxidant potential and cholinesterase inhibition potential of extracts from *Mentha pulegium* L. *Chemistry and Biodiversity*, 15(12), 1-25.
- Rocha, J., Direito, R., Lima, A., Mota, J., Gonçalves, M., Duarte, M.P., Solas, J., Peniche, B.F., Fernandes, A., Pinto, R., Ferreira, R.B., Sepodes, B. & Figueira, M.E., 2019. Reduction of inflammation and colon injury by a pennyroyal phenolic extract in experimental inflammatory bowel disease in mice. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 118, 1-12.
- Sbayou, H., Boumaza, A., Hilali, A. & Amghar, S., 2016. Antioxidant properties of artemisia herba-alba asso *Mentha pulegium* L. and *origanum compactum* benth. essential oils. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(8), 2908-2912.
- Shan, B., Cai, Y.Z., Sun, M. & Corke, H., 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7749-7759.
- Shirazi, F.H., Ahmadi, N. & Kamalinejad, M., 2004. Evaluation of northern iran *Mentha Pulegium* L. cytotoxicity. *Daru Journal of Pharmaceutical Sciences*, 12(3), 106-110.
- Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Batista, I., Serrano, C., Matos, O., Neng, N.R., Nogueira, J.M.F., Saraiva, J.A. & Leonor Nunes, M., 2012. European pennyroyal (*Mentha pulegium*) from Portugal: chemical composition of essential oil and antioxidant and antimicrobial properties of extracts and essential oil. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 81-87

Mentha pulegium essential oil: chemical composition, total phenolic and its cytotoxicity on cell line HT29

H. Tanavar¹, H. Barzegar^{2*}, B. Alizadeh Behbahani³, M. A. Mehrnia³

Received: 2019.11.19

Accepted: 2019.12.24

Introduction: Free radicals activity and their products of their oxidation can cause undesired feeling and nutritional effects such as, awful taste, destroying vitamins and destruction of essential fatty acids. These compounds which are toxic substances and damage the genetic material of cells causing heart and cardio vascular diseases and different type of cancer. Antioxidants absorb free radicals, so they can decelerate oxidation speed, then delete them to save the body from undesirable effects. Pooneh which is called scientifically *Mentha pulegium* belongs to lamiaceae group. The aim of this study was evaluating chemical compounds, antioxidant activity, total phenolic and cytotoxicity of *Mentha pulegium* essential oil (MPEO) on cell line of colon and gut cancer.

Materials and methods: In this study, after extraction of MPEO using condensation the essential oil chemical composition were identified with gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS). Antioxidant activity was measured with radical inhibition ability method DPPH, ABTS and also their resistance against linoleic acid oxidation and changing β -carotene color, was considered. The evaluation of total phenolic composition was carried out using folin-ciocalteu method. To do this, the concentration of 1000, 10000, 1200 and 1400 of MPEO with alcohol was prepared. One mL of each concentration was added to 2.5mL of folin-ciocalteu reagent. After 2.5 minutes, 2ml sodium carbonate was added and mixed well. The rate of sample absorption after one hour was 725 nm. Determination of flavonoids range was done with aluminum chloride. MPEO cytotoxicity effects (1, 3.125, 6.25, 12.5, 25, 50, 100, 200 mg/ml) on colon cancer cell line (HT29) was performed using MTT method. In this method 30 mL of MTT solution with 5 mg/mL was added to all wells and maintain for 3 hours in carbon dioxide. After removing environment, 200 μ l DMSO was added to each well and the rate of absorption in 570 nm was read using ELISA/microplate reader device. Cell aliveness curve was drawn.

Results and discussion: The results showed that MPEO had 25 compounds, dl-limonene 28.44%, D-carvone 18.76%, Eucalyptol 8.86% and pulegone 8.65% were the top components. The rate of *Mentha pulegium* free radicals control with DPPH and ABTS was 51.5% and 53.43% respectively. The amount of MPEO resistance against oxidation of linoleic acids and color changing in β -carotene was 59.22%. Total phenolic was equal to 73.35 mg gallic acid/ml. The cytotoxicity effects results showed, the percent of HT29 aliveness was 100, 70.21, 61.26, 51.98, 35.12, 24.44, 18.65 and 10.92 respectively. Based on the results, increasing in MPEO concentration, caused increasing in HT29 cell line and decreasing percentage of aliveness. The most cells toxicity was in 200 mg/mL and the less was in 1 mg/mL.

According to the results, in this study MPEO had suitable antioxidant activity, so we can use *Mentha pulegium* as an alternative for synthesis preservatives in food industry.

Keywords: Pooneh essential oil, β -carotene linoleic acid, Total flavonoids, Gas chromatography.

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: hbarzegar@asnrkh.ac.ir)

مقاله علمی - پژوهشی

توسعه مدل پیشگو به منظور تعیین سفتی میوه "به" به کمک برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی در خلال انبارمانی

شیما نصیری¹ - سامان آبدانان مهدی‌زاده^{2*} - مختار حیدری³

تاریخ دریافت: 1398/06/12

تاریخ پذیرش: 1398/08/04

چکیده

استحکام محصولات یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در میزان بازاریابی و همچنین تعیین کیفیت میوه‌ها به خصوص "به" می‌باشد. لذا در پژوهش حاضر پس از تعیین مجموعه‌ای از تغییرات فیزیکی و شیمیایی میوه، پاسخ صوتی آن طی مدت زمان 4 ماه (هر 15 روز یک بار) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین سفتی میوه به صورت غیرمخرب چهار ویژگی (پیک آکوستیک، حداکثر فشار آکوستیک، میانگین فشار آکوستیک و فرکانس طبیعی) استخراج و با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی مدل‌سازی انجام و با مدل‌های موجود (FI و SIQ-FT) مقایسه گردید. در این مطالعه نشان داده شد که مدل‌سازی به روش برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی با ضریب همبستگی به ترتیب 0/9567 و 0/933 دارای عملکردی مطلوب‌تری در پیش‌بینی مقدار سفتی محصول "به" نسبت به مدل‌های موجود FI و SIQ-FT با ضریب همبستگی به ترتیب 0/601 و 0/754 دارند.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌نویسی ژنتیک، شبکه عصبی، به، انبارمانی، سفتی.

مقدمه

میوه "به" (*Cydonia oblonga*) یا بهی دارای گوشت خشک و کرکی است که طعمی ترش و تقریباً گس دارد. "به" سرشار از ویتامین‌های آ، ب و املاح آهنی می‌باشد. مصرف میوه به سبب تقویت اعمال دستگاه گوارش، مخاط و همچنین کاهش سرفه می‌شود. "به" در جاهای دیگر دنیا از جمله آفریقا، مرکز اروپا و خاورمیانه نیز کشت و برداشت می‌شود ولی در حدود 75 درصد آن از ایران تامین می‌شود (Ornes piero et al., 2006). طبق آمار جهانی سطح زیر کشت و برداشت این میوه در ایران در سال 2017 به ترتیب 11278/3 هکتار و 5419 کیلوگرم بر هکتار گزارش شده است؛ در نتیجه تعیین کیفیت آن به صورت غیرمخرب به منظور افزایش صادرات، حفظ مشتریان بین‌المللی و افزایش درآمد تولیدکنندگان این محصول مهم و کارآمد می‌باشد (بی‌نام، 1395).

مطالعات متفاوتی برای ارزیابی کیفیت درونی میوه‌ها و محصولات غذایی صورت پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به ارزیابی پاسخ

ارتعاشی هندوانه برای بررسی کیفیت بافت گوشت آن اشاره نمود. در پژوهش مذکور از مدل رگرسیونی جهت پیش‌بینی کیفیت گوشت هندوانه انجام شد. نتایج حاصل نشان دادند که عملکرد مدل رگرسیونی چندگانه در طیف فاز بهتر از مدل‌های دیگر بود و همچنین ضرایب رگرسیون مدل‌های کالیبرا سیون و اعتبار سنجی به ترتیب 0/9998 و 0/9986 به دست آمدند (Abbaszadeh et al., 2013). در پژوهش دیگر از روش پاسخ ضربه آکوستیک برای مدل‌سازی کیفیت هندوانه استفاده شد، بر اساس نتایج همبستگی معنی‌داری بین استحکام و شاخص سفتی با استفاده از مدل رگرسیون خطی و مدل غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی به دست آمد (Mao et al., 2016). Costa و همکاران (2011) نیز از ترکیب روش آکوستیکی و مکانیکی در ارزیابی میوه سیب بهره جستند. نتایج به دست آمده از این آزمایش نشان‌دهنده همبستگی مناسبی ($R^2 \geq 0/6$) بین ترکیب ویژگی‌های مکانیکی با آکوستیکی در اندازه‌گیری سفتی سیب با آزمون‌های حسی بود. Laura Corollaro و همکاران (2014) یک روش ترکیبی

3- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.
* - نویسنده مسئول: saman.abdanan@gmail.com (Email:)

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

2- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

کیسه‌های نایلونی استریل، بسته‌بندی شده و به انبار با دمای 4 درجه سلسیوس رطوبت نسبی 4 ± 1 درصد به مدت 4 ماه نگهداری شدند. نمونه‌برداری هر 15 روز یکبار انجام پذیرفت (اکبری بیشه و همکاران، 1393).

روش پاسخ ضربه آکوستیک

به‌منظور اندازه‌گیری پاسخ آکوستیکی حاصل از ضربه به میوه، نمونه‌ها در پایه تکیه‌گاهی پوشیده شده با فوم لاستیکی قرار گرفتند. برای ثبت صدا، میکروفن در فاصله 5 سانتی‌متری از میوه در قسمت کناری محل اعمال ضربه نصب گردید؛ اعمال ضربه به‌وسیله توپ پلاستیکی به جرم $9/2$ گرم صورت پذیرفت. فرکانس داده‌برداری 32000 هرتز و به‌صورت تک‌باند به مدت 50 میلی‌ثانیه در نظر گرفته شد. پس از فیلتر کردن سیگنال و حذف نویز، به‌منظور استخراج فرکانس طبیعی از صدای ضبط شده تبدیل فوری آن‌ها محاسبه و طیف فرکانس حاصل از بزرگترین فرکانس رزونانس انتخاب گردید (Chen et al., 1992). اندازه‌گیری در سه نقطه در ناحیه استوایی میوه (جنوب، شرق و غرب) در سه سرعت مختلف ضربه‌زن ($0/3$ ، $0/6$ و $0/9$ m/s) انجام پذیرفت (Gomez et al., 2005). علاوه بر فرکانس طبیعی ویژگی‌های جدول 1 نیز محاسبه گردیدند (Costa et al., 2011).

آزمون‌های مورد نظر در خلال انبارمانی

جرم و جرم حجمی میوه

جرم نمونه‌های "به" با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 گرم اندازه‌گیری شد. جرم حجمی نمونه‌ها نیز توسط روش جابه‌جایی آب محاسبه گردیدند؛ در این روش حجم محصول از تقسیم نیروی شناوری (جرم آب جابه‌جاشده) بر دانسیته آب به‌دست آمد:

$$V = \frac{M_{dw}}{\rho_w} \quad (1)$$

اندازه‌گیری‌های شیمیایی

غلظت مواد محلول جامد و اسیدیته بر روی عصاره استخراج شده از طریق تراکم میوه اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین میزان مواد جامد محلول از عصاره استخراج شده، از دستگاه رفاکتومتر دیجیتال (MA882، ژاپن) استفاده شد (سلطانی کاظمی و همکاران، 1396a). تعیین pH عصاره میوه با استفاده از pHسنج (P-755 قابل حمل، ژاپن) انجام گردید. بدین منظور، ابتدا pH متر با استفاده از محلول بافر چهار و هفت تنظیم گردید سپس آبمیوه در بشر ریخته و الکتروود pH متر را در محلول قرار داده و پس از ثابت شدن عدد، pH آبمیوه یادداشت گردید (سلطانی کاظمی و همکاران، 1396b). اندازه‌گیری ویتامین ث به

حسی - ابزاری به‌منظور بررسی روند تغییرات کیفیت¹ سیب براساس تکنیک‌های حسی را ارائه کردند. بدین منظور همبستگی بین داده‌های حسی و ابزاری مورد بررسی قرار گرفت و مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی خواص حسی از طریق اندازه‌گیری‌های ابزاری تعیین شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده مدل پیش‌بینی شده برای تمامی ویژگی‌های حسی، به‌جز میوه‌های با مغز سبز رنگ و سفت، همبستگی بالایی داشت ($R^2 \geq 0/8$).

به منظور توسعه مدل‌های ریاضی و پیشگو کیفیت محصولات و سامانه‌های کشاورزی روش‌های مختلفی توسعه یافته است که از آن جمله می‌توان به شبکه عصبی مصنوعی (Thendral & Suhasini, 2017)، رگرسیون چندگانه (امرای و همکاران، 1395)، رگرسیونی فازی (Naganur et al., 2012) و برنامه نویسی ژنتیک (Nadafzadeh et al., 2018) اشاره نمود. Javadikia و همکاران (2018) از سیستم بینایی کامپیوتری ترکیبی اتوماتیک و غیرقابل نفوذ برای ارزیابی ضخامت پوست در پرتقال تامسون استفاده کردند. در این پژوهش از روش‌های برنامه نویسی ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی، بهینه‌سازی ذرات برای تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای الگوریتم استفاده شد. در پژوهشی جهت برآورد میزان دو آنزیم PPO و POD موز، از پردازش تصاویر دیجیتالی و آنالیز رگرسیونی چندگانه در طول دوره انبارمانی استفاده گردید (سلطانی کاظمی و همکاران، 1397). در این تحقیق نشان داده شد که ویژگی‌های فرکتالی FDIac و FDavg از توانایی بیشتری نسبت به ویژگی‌های رنگی جهت پیش‌گویی آنزیم‌های POD و PPO با ضریب رگرسیون به‌ترتیب 0/903 و 0/896 برخوردار هستند.

استحکام یکی از عوامل مهم در تعیین کیفیت میوه‌ها به‌خصوص "به" می‌باشد. بیشتر مصرف کنندگان کیفیت میوه "به" را با توجه به رنگ و سفتی آن ارزیابی می‌کنند. به‌همین منظور در این پژوهش مدل‌های هوشمندی جهت پیش‌بینی سفتی میوه "به" در مدت انبارمانی، توسعه داده می‌شود.

مواد و روش‌ها

میوه‌های "به" رقم اصفهان، مورد استفاده در این پژوهش از یک باغ تجاری واقع در حومه شهر اصفهان در اواخر مهر ماه (181 روز پس از گلدهی کامل درختان) تهیه و با رعایت اصول جابه‌جایی، در کمتر از 24 ساعت به آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان باغی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انتقال داده شد. در انتخاب نمونه‌ها سعی گردید تا میوه‌ها از نظر شکل و اندازه یکسان باشند. بر همین اساس ابعاد نمونه‌ها (سه قطر عمود بر هم) با کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری و ثبت شد. نمونه‌ها درون جعبه قرار گرفتند و در

مس مصرفی یادداشت و با استفاده از رابطه 2 میزان ویتامین ث محاسبه شد.

$$\text{ویتامین ث} = 0/88 \times \text{حجم سولفات مس مصرفی} \quad (2)$$

روش تیتراسیون با سولفات مس براساس روش پیشنهادی برکات و همکاران (1972) انجام پذیرفت. در این روش، به 5 میلی لیتر از آب میوه، 10 میلی لیتر یدورپتاسیم 5% اضافه گردید. سپس 3 قطره محلول نشاسته 1% اضافه شده و تیتراسیون با استفاده از سولفات مس 1% مولار تا ظهور اولین علائم رنگ قرمز جگری ثابت ادامه یافت. حجم سولفات

جدول 1- ویژگی‌های استخراجی مورد نظر از پاسخ آکوستیکی

واحد	توصیف کلی	پارامترها
-	تعداد پیک‌های آکوستیک تا 50% بزرگترین پیک	پیک آکوستیک
dB	یافتن بالاترین پیک آکوستیک در موج فشار صوت	حداکثر فشار آکوستیک
dB	میانگین ارزش بالاترین فشار صوت ثبت شده از نمودار آکوستیک	میانگین فشار آکوستیک

در اینجا FI شاخص سفتی ($kg^{2/3}s^{-2}$)، EI ضریب الاستیسیته (Pa)، f فرکانس طبیعی (هرتز)، ρ جرم حجمی میوه (kg/m^3) و m جرم میوه (کیلوگرم) است.

در پژوهشی دیگر سفتی به‌عنوان معیار "SIQ-FT" بیان شده است؛ در این روش اساس اندازه‌گیری پاسخ دینامیکی بافت میوه در اثر اعمال ضربه است و توسط رابطه (5) قابل محاسبه است (Schmulevich et al., 2003).

$$SIQ - FT = C \left[\frac{P_{max}}{\int p(t) dt} \right]^2 \quad (5)$$

که در این رابطه C ثابت سیستم، p دامنه اوج پاسخ ضربه و $p(t)$ پاسخ ضربه به‌عنوان یک تابع از زمان است.

توسعه مدل به‌وسیله برنامه‌نویسی ژنتیک

اساس جستجو و توسعه روش برنامه‌نویسی ژنتیک (GP)، الگوریتم ژنتیک (GA) است. در این روش با در نظر گرفتن پارامترهای موثر در پدیده فیزیکی مورد بررسی، مدل‌سازی ریاضی و همچنین بهینه‌سازی ضرایب مدل توسعه یافته به‌طور همزمان انجام می‌شود (Muttill Gp and Lee, 2005). برای ایجاد یک مدل پیش‌بینی معتبر با استفاده از GP، مجموعه‌ای از اطلاعات از قبیل اندازه جمعیت اولیه، نرخ جهش متقابل و همچنین تابع برآزش تعیین می‌شوند (Muttill and Lee, 2005). GA یک الگوریتم براساس جمعیت است؛ در نتیجه، در هر مرحله از این روش مدل‌سازی، راه‌حل‌های توسعه یافته در GP با استفاده از GA، بهینه و مدل‌های غیرخطی ریاضی با استفاده از GP براساس ویژگی‌های مخرب و غیرمخرب، طراحی و توسعه می‌یابند. در این پژوهش برای انجام مدل‌سازی توسط GA، ابتدا جمعیت اولیه، حداکثر عمق و حد عمق پویا¹ به ترتیب 500، 17 و 6 انتخاب شدند

آزمون نفوذ

به‌منظور بررسی سفتی، نمونه‌ها از نقطه محل اعمال ضربه به‌وسیله دستگاه آزمون ماده (سنتام، STM-20، ایران) تحت آزمون نفوذ قرار گرفتند. بدین منظور از یک پروب به قطر 8 میلی‌متر با سرعت حرکت پروب 20 میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. حداکثر عمق نفوذ 10 میلی‌متر در نظر گرفته شد. حداکثر نیروی نفوذ به‌عنوان سفتی نمونه مورد استفاده قرار گرفت. به‌علاوه قبل از آزمون، پوست میوه‌ها در محل ایجاد سوراخ، با چاقوی تیز برداشته شد (Tamure and Teryaki, 2012).

مدل‌سازی ریاضی سفتی و ضریب الاستیسیته میوه

در این پژوهش از سه روش به منظور پیش‌بینی سفتی و تعیین مدول الاستیسیته محصول استفاده شده است: (1) مدل‌های ریاضی موجود، (2) توسعه مدل به‌وسیله برنامه‌نویسی ژنتیک و (3) شبکه عصبی. نهایتاً 3 روش با یکدیگر مقایسه و بهترین روش پیشنهاد شد.

مدل‌های ریاضی موجود

در این روش فرکانس طبیعی میوه‌ها از روی نمودارهای فرکانس-دامنه به‌دست می‌آید. برای این منظور از اولین فرکانس با بزرگترین دامنه استفاده گردید. این فرکانس با عنوان فرکانس طبیعی یا غالب برای میوه مورد آزمون ثبت شد. برای تعیین سایر پارامترهای صوتی از رابطه‌های (3) و (4) استفاده گردید (Gomez et al., 2005).

$$FI = f^2 m^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

$$EI = f^2 m^{\frac{2}{3}} \rho^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

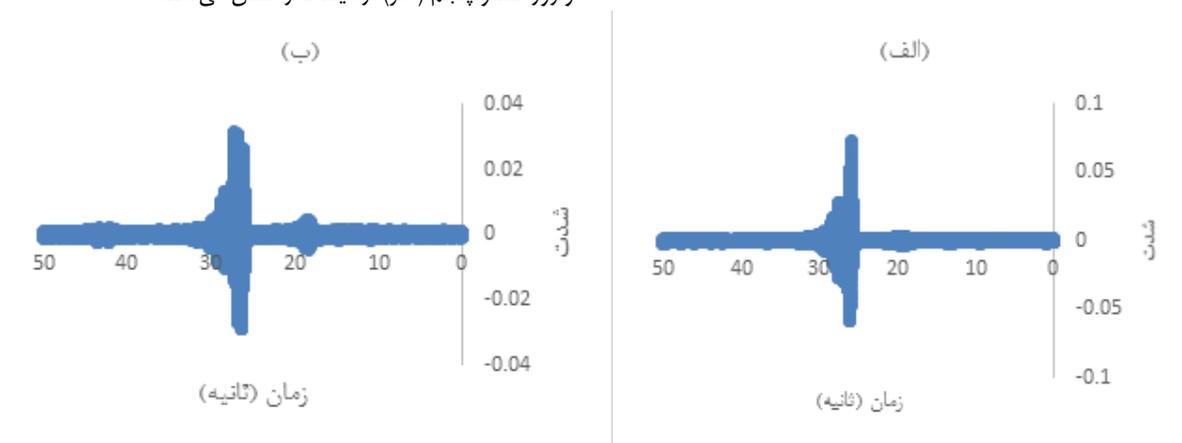
مدل‌سازی شبکه عصبی

به‌منظور پیش‌بینی سفتی از مدل شبکه عصبی سه لایه و قاعده یادگیری لوومبرگ-مارکوت¹ استفاده شد. برای آموزش، ابتدا داده‌ها به‌طور تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند به‌طوری‌که دو- سوم داده‌ها برای آموزش، یک-سوم آن‌ها برای آزمون شبکه مورد استفاده قرار گرفتند. تابع انتقال میان ورودی و لایه میانی تانژانت-سیگموئید و میان خروجی با لایه میانی خطی انتخاب گردید (Nadafzadeh et al., 2018). مقدار خطای متوسط آموزش برای شبکه تابع پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس انتشار خطا و با ساختار مختلف مورد آنالیز آماری در سطح احتمال 5% قرار گرفت و بهینه ساختار شبکه انتخاب شد. ورودی مدل پارامترهای غیرمخرب صدا و خروجی آن سفتی در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث

پردازش سیگنال

شکل (1-الف) و (1-ب) نمونه‌ای از سیگنال اخذ شده توسط سامانه توسعه یافته بعد از حذف نویز با فیلتر گوسی به‌ترتیب در روزهای اول و روز صد و پنجم (آخر) آزمایشات را نشان می‌دهد.



شکل 1- نمونه‌ای از صدای اخذ شده از میوه الف) روز اول و ب) روز صد و پنجم

بررسی تغییرات پارامترهای مخرب

در این پژوهش به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌داری میان پارامترهای مخرب و غیرمخرب آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5% انجام پذیرفت (جدول‌های 2 و 3). بر اساس جدول 2 (ویژگی‌های صدا) مقادیر به‌دست آمده برای پیک آکوستیک در روز اول 54/81 می‌باشد که نسبت به روز پانزده و سی‌ام اختلاف معنی‌داری نداشته است. اما از روز چهل و پنجم به بعد در این ویژگی

(Nadafzadeh et al., 2018). در نهایت، به وسیله روش تقاطع یک نقطه‌ای اطلاعات از دو عضو (در گره)، اطلاعات جدید ایجاد گردید. در این پژوهش نرخ تقاطع و جهش (به‌منظور تغییر تصادفی علائم ریاضی) به‌ترتیب 0/01 و 0/01 در نظر گرفته شد. توابع ریاضی مورد استفاده \times ، \div ، $+$ ، $-$ و \wedge انتخاب شدند (Abdollah zare and Abdanan, 2018). تابع هدف کمینه RMSE برای مدل پیشگو در طول مرحله آموزشی برای تکامل مدل GP مورد استفاده قرار گرفت. بعلاوه دو- سوم از نمونه‌ها برای توسعه مدل‌ها و یک- سوم برای آزمایش مدل‌های توسعه یافته استفاده شدند. در واقع، به‌منظور ارزیابی مدل‌های طراحی شده، بعد از توسعه مدل‌ها، نمونه‌های دیده‌نشده توسط مدل به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و سپس مدل‌ها با استفاده از این داده‌ها آزمایش گردیدند. خروجی مدل طراحی شده در قالب یک گراف درختی ارائه گردید؛ این گراف درختی شامل مجموعه‌ای از نقاط انتهایی (متغیرهای مساله) و گره‌ها (علائم ریاضی) است که بر این اساس نمودار روابط به‌دست آمد (Zhao et al., 2004). لازم به ذکر است که در این پژوهش بعد از استخراج روابط، سفتی نمونه‌ها (FI) براساس پارامترهای استخراج شده از صدا محاسبه شد.

همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌شود در لحظه برخورد شدت صدا دارای مقدار ماکزیمم بوده است. اما در روز اول (شکل (1-الف)) میزان شدت صوت حاصل از ضربه نسبت به روز آخر (شکل (1-ب)) مقدار بیشتری را نشان می‌دهد؛ این مساله حاکی از وجود سفتی بیشتر نمونه‌ها می‌باشد. این سفتی به مرور زمان و با افزایش دوره انبارمانی کاهش یافته که نتیجه این کاهش، مستهلک شدن انرژی صدا توسط بافت داخلی و کاهش شدت صدای منعکس شده است.

طبیعی روند کاهش معنی‌داری ($p < 0/05$) داشت به طوری که مقدار آن در روز اول و صد و پنجم به ترتیب 177/37 و 119/08 به دست آمد. در کنار این روند کاهش میانی روزهای اول تا سیام اختلاف معنی‌دار وجود نداشته است و از روز سیام تا صد و پنجم نیز این اختلاف معنی‌دار دیده نشد. در این راستا در پژوهشی بیاتی و همکاران (1395) تاثیر انبارمانی را با روش‌های صوتی و نفوذسنجی بر میوه سیب گلاب ارزیابی کردند. بر اساس نتایج این تحقیق پارامترهای صوتی و نفوذسنجی (فرکانس طبیعی، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته) در طی دوره انبارمانی کاهش داشتند.

یک روند کاهش معنی‌داری در سطح احتمال 5% مشاهده شد که این روند تا روز صد و پنجم ادامه یافت به طوری که در روز صد و پنجم مقدار آن به 40/18 رسید. در پژوهشی که توسط Costa و همکاران (2011) صورت پذیرفت مشخص شد که میان پیک آکوستیک و سفتی ارتباط کاهش معنی‌داری وجود دارد که مشابه پژوهش حاضر می‌باشد. مقادیر به دست آمده برای ویژگی حداکثر فشار آکوستیک در روز اول 23/37- بود. برای این ویژگی روند تقریباً کاهش ثابت غیرمعنی‌داری بین روزهای مختلف مشاهده شد. در ویژگی میانگین فشار آکوستیک علاوه بر روند کاهش در هیچ یک از روزهای آزمایش اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید ($p > 0/05$). نهایتاً ویژگی فرکانس

جدول 2- مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای صدا در خلال انبارمانی

تیمار (روز)	پیک آکوستیک	حداکثر فشار آکوستیک	میانگین فشار آکوستیک	فرکانس طبیعی
1	54/8069 ^a	-23/3745 ^a	22/089 ^a	177/37 ^a
15	53/4597 ^a	-23/4611 ^a	21/511 ^a	155/12 ^{ab}
30	53/2672 ^a	-23/6294 ^a	19/644 ^a	150/36 ^{ab}
45	43/3513 ^b	-24/1146 ^{ab}	18/400 ^a	137 ^b
60	42/9815 ^{bc}	-24/4629 ^{ab}	17/222 ^a	136/12 ^b
75	42/5078 ^{bc}	-24/4837 ^{ab}	16/511 ^a	131/66 ^b
90	41/4239 ^{cd}	-24/7219 ^{ab}	16/489 ^a	122/57 ^b
105	40/1814 ^d	-25/4002 ^b	15/511 ^a	119/08 ^b

حروف غیرمشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05 می‌باشند.

جدول 3- مقایسه میانگین مربوط به آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی در خلال انبارمانی

تیمار (روز)	حجم (m ³)	چگالی (g/m ³)	TSS	pH	اسیدیته	ویتامین C	وزن ماده خشک (g)	وزن (g)	قطر کوچک (mm)	قطر بزرگ (mm)	سفتی (N)
1	203x10 ^{3a}	0.068985 ^a	14/2933 ^a	4/8060 ^a	1 ^a	1/7467 ^a	21/804 ^a	301/496 ^a	86/102 ^a	301/50 ^a	6/5 ^a
15	19220 ^{ab}	0.064200 ^{ab}	14/1333 ^a	4/7380 ^{ab}	0.89333 ^{ab}	1/6733 ^a	21/664 ^a	281/174 ^b	85/664 ^a	281/17 ^{ab}	6/36 ^{ab}
30	18360 ^{abc}	0.062577 ^{ab}	14/1267 ^a	4/73267 ^{ab}	0.89333 ^{ab}	1/67 ^{ab}	20/6327 ^{ab}	269/469 ^{bc}	83/854 ^{ab}	266/81 ^b	6/2867 ^{abc}
45	18313 ^{abc}	0.061437 ^{abc}	13/62 ^{ab}	4/66667 ^b	0.88 ^{ab}	1/6133 ^{ab}	19/7820 ^{bc}	266/809 ^{bc}	82/767 ^{bc}	265/17 ^b	6/0867 ^{abc}
60	17193 ^{bcd}	0.059175 ^{bc}	12/9333 ^{bc}	4/6580 ^b	0.76 ^{bc}	1/52 ^{abc}	19/7687 ^{bc}	265/167 ^{bc}	81/345 ^{cd}	263/90 ^b	5/9467 ^{abc}
75	16927 ^{bcd}	0.056277 ^{bc}	12/82 ^{bc}	4/61933 ^b	0.74 ^c	1/4067 ^{bc}	19/6920 ^{bc}	263/899 ^{bc}	81/275 ^{cd}	261/59 ^b	5/4867 ^{bc}
90	16767 ^{cd}	0.053333 ^c	12/7933 ^{bc}	4/47133 ^c	0.73333 ^c	1/3267 ^c	19/6507 ^{cd}	261/587 ^{bc}	80/616 ^{cd}	195/44 ^c	5/47 ^{bc}
105	155470 ^d	0.053192 ^c	12/66 ^c	4/20333 ^d	0.70667 ^c	1/3 ^c	18/4720 ^c	250/243 ^c	80/138 ^d	133/86 ^d	5/3067 ^c

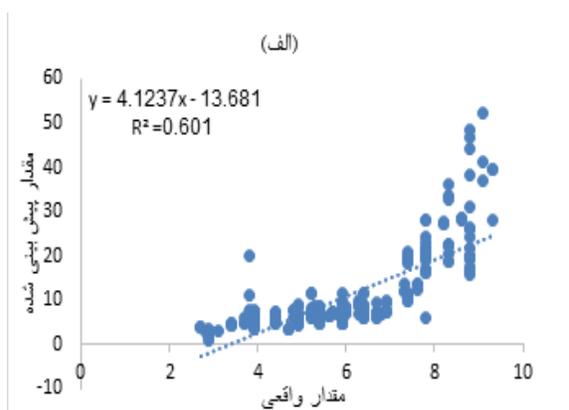
حروف غیر مشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05 است.

جدول 3 آنالیز آماری مربوط به آزمون مخرب را نشان می‌دهد. مقادیر حاصله برای حجم نمونه‌ها روند کاهش معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد داشت؛ به طوری که در روز اول مقدار حجم نمونه‌ها 203x10³ میلی‌متر مکعب مشاهده گردید و با گذشت روزهای انبارمانی کاهش یافت و در نهایت در روز صد و پنجم به 155470 میلی‌متر مکعب رسید. همچنین این روند کاهش معنی‌دار برای چگالی

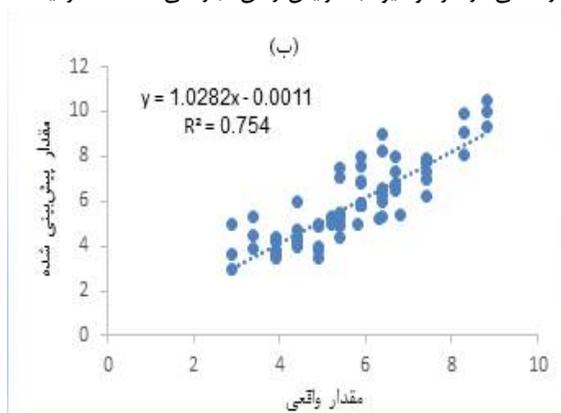
مقادیر حاصله برای حجم نمونه‌ها روند کاهش معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد داشت؛ به طوری که در روز اول مقدار حجم نمونه‌ها

مدل‌سازی ریاضی سفتی میوه

در مقالات متعدد از دو رابطه مرسوم برای به‌دست آوردن ارتباط بین فرکانس رزونانس و جرم (رابطه 3) و اثر صدای حاصل از برخورد (رابطه 5) استفاده شده است. در این پژوهش برای مقایسه نتایج به‌دست آمده از این روابط از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی، استفاده شد. مقدار رگرسیون به‌دست آمده بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده برای رابطه رزونانس و جرم (رابطه 3) و اثر صدای حاصل از برخورد (رابطه 5) به ترتیب $R^2 = 0/601$ (شکل 2- الف) و $R^2 = 0/754$ به‌دست آمد (شکل 2- ب). در رابطه 5 یک پارامتر ثابت (C) جهت تنظیم کردن مقادیر به‌دست آمده وجود دارد. در این پژوهش با استفاده از روش سعی و خطا این مقدار ثابت، 150 به‌دست آمده است. علت بیشتر بودن ضریب تعیین در رابطه 5 نسبت به رابطه 4 نیز وجود همین پارامتر می‌باشد. دکتار و همکاران (2006)، از رابطه 3 برای بررسی استحکام بعد از رسیدن میوه سیب به‌وسیله آنالیز صدای حاصل از ضربه با جرم کوچک استفاده کردند. در پژوهش انجام شده توسط آنها رابطه نسبتاً خطی ($r=0/88$) با سفتی به‌دست آمد. همچنین این پژوهشگران در همان سال برای ارزیابی کیفیت سیب و گوجه‌فرنگی از رابطه 5 استفاده کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده رابطه SIQ-FT توانست سفتی را برای سیب و گوجه‌فرنگی با مقدار $r=0/44$ و $p<0/001$ پیش‌بینی کند.



نیز صادق بوده است؛ به‌گونه‌ای که میان روز اول آزمایش با روز شصت تا صد و پنجم اختلاف معنی‌داری دیده شد ($p<0/05$) مقادیر pH، TSS، اسیدیته و ویتامین ث نیز روند کاهشی را دنبال کرده‌اند و میان روز اول آزمایش با روز نهمی آن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5% مشاهده گردید که نشان از کاهش کیفیت نمونه‌ها است. هادیان دلجو و ساری‌خانی (1391) در پژوهشی اثر سالیسیلیک اسید را بر حفظ کیفیت پس از برداشت میوه سیب رقم "گلاب کههنز" بررسی کردند. در این پژوهش روندی نزولی برای مقدار اسیدیته و TSS مشاهده شد. در صورتی که روندی افزایشی برای مقدار pH مشاهده کردند که علت این روند را شکسته شدن و تجزیه اسیدهای آلی در فرآیند تنفس به دلیل وجود اسید سالیسیلیک دانستند. بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته وزن نمونه‌ها در روز اول و صد و پنجم به ترتیب 301/496 و 250/243 گرم بوده که نشان‌دهنده اختلاف قابل توجه میان این روزها می‌باشد ($p<0/05$). همچنین مقادیر قطر بزرگ و قطر کوچک به مرور زمان از روز اول به ترتیب از 301/50 و 86/102 میلی‌متر به 80/138 و 133/86 میلی‌متر در روز آخر انبارمانی کاهش داشته‌اند. در بررسی سفتی در روز نخست مقدار 6/5 نیوتن مشاهده شد که این مقدار با گذشت دوره انبارمانی به صورت معنی‌داری کاهش داشت به طوری که در روز آخر انبارمانی به 5/3067 نیوتن رسید. Scotte و همکاران (1999) و بیاتی و همکاران (1395) به ترتیب استحکام میوه گوجه‌فرنگی و سیب گلاب را با استفاده از تکنیک پاسخ آکو ستیک ارزیابی کردند. در این پژوهش‌ها روندی نزولی برای مقدار سفتی در هر دو میوه با افزایش زمان انبارمانی مشاهده گردید.

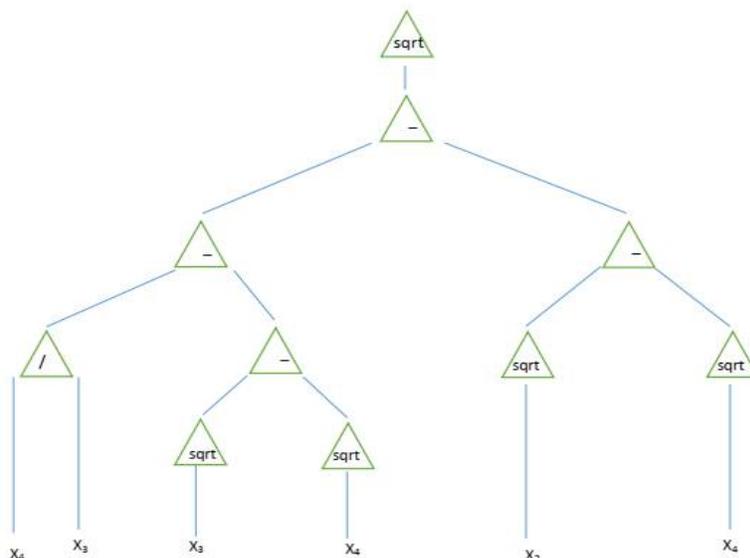


شکل 2- نمودار پراکندگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده (الف) رابطه 3 و (ب) رابطه 5 برای سفتی

حاصل از ضربه توسعه و بهترین مدل با کمترین خطا انتخاب گردید. خروجی این مدل طراحی شده در قالب یک گراف درختی ارائه شده است (شکل 3).

توسعه مدل به‌وسیله برنامه‌نویسی ژنتیک

در پژوهش حاضر مدل‌های غیرخطی ریاضی با استفاده از Gp به‌منظور پیش‌بینی سفتی میوه به براساس ویژگی‌های غیرمخرب

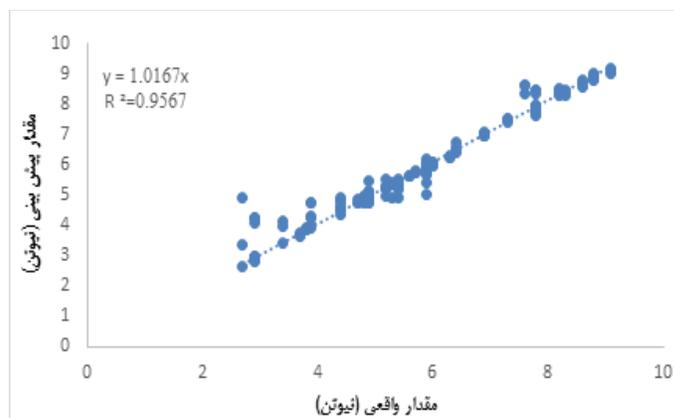


شکل 3- نمودار درختی رابطه ریاضی توسعه یافته توسط GP

در ادامه، عملکرد مدل طراحی شده در مقایسه با مقدار به دست آمده توسط دستگاه آزمون مواد ترسیم گردید (شکل 4). همانطور که در شکل مشخص است 95 درصد تغییرات متغیر وابسته (مقادیر واقعی سفتی) توسط مدل توسعه یافته به وسیله GP پوشش داده می شود. Xiaobo و همکاران (2007) از روش مرتب سازی ویژگی ها¹ (OFP) و الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی مجموعه ای از سیبها در چهار گروه مختلف بر اساس کیفیت استفاده کردند. این محققان نشان دادند که دقت روش OFP نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی دقیق تر بوده ولی نسبت به روش رگرسیون بردار ماشین پشتیبان عملکرد ضعیف تری دارد.

این گراف درختی شامل مجموعه ای از نقاط انتهایی (متغیرهای مساله) و گره ها (علائم ریاضی) است. در این معادله x_1 پیک آکوستیک، x_2 حداکثر فشار آکوستیک، x_3 میانگین فشار آکوستیک و x_4 فرکانس طبیعی می باشد. در این گراف درختی مقدار x_1 (پیک آکوستیک) وارد نشده است و به عنوان ورودی در نظر گرفته نشده است. رابطه به دست آمده توسط GP به صورت زیر می باشد (رابطه 6):

$$Gp = 1.3 \times \sqrt{(x_4 / x_3)} - \sqrt{x_3} - \sqrt{x_2} + 2\sqrt{x_4} \quad (6)$$

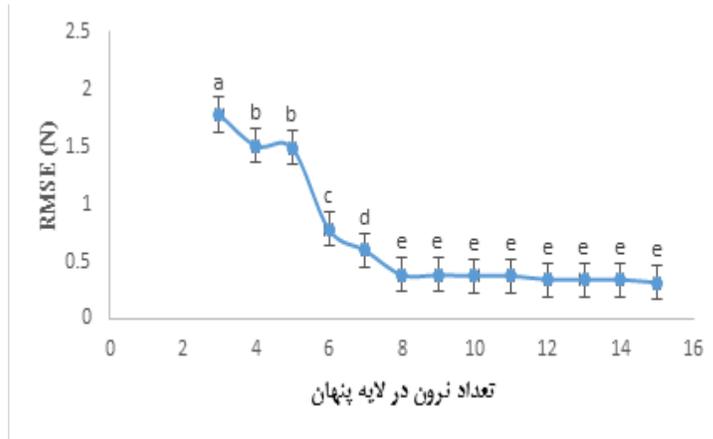


شکل 4- نتایج مقادیر پیش بینی شده در روش GP در مقابل مقادیر واقعی سفتی

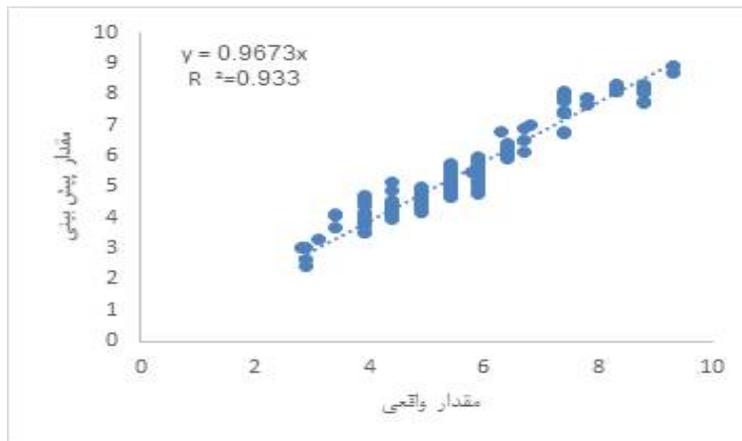
مدل‌سازی شبکه عصبی

به منظور تعیین تعداد نرون‌ها در لایه میانی خطای پیشگویی شبکه عصبی با افزایش تعداد نرون در لایه میانی از 3 تا 15 در 5 تکرار برای هر نرون مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با شکل 5 خطای جذر میانگین مربعات با وجود 3 نرون در لایه میانی 1/77 گردید که این خطا با افزایش تعداد نرون‌ها به 8 عدد 0/38 و با 15 نرون 0/31 به دست آمد.

با توجه به اینکه خطای جذر میانگین مربعات آموزش برای شبکه پرسپترون با 8 نرون در لایه میانی اختلاف معنی‌داری با تعداد نرون‌های بیشتر در لایه میانی نداشت و در ضمن نسبت به تعداد نرون‌های قبلی خطای کمتری داشت، لذا این تعداد نرون به عنوان حالت بهینه در شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل 5- نمودار خطای آموزش تابع پرسپترون در پیش‌بینی سفتی نسبت به تعداد نرون‌ها در لایه میانی



شکل 6- توزیع پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و مقادیر واقعی برای سفتی

با استفاده از مدل رگرسیون خطی و غیرخطی شبکه عصبی مشاهده کردند ($r=0/695$) و نتیجه گرفتند که مدل خطی مناسب‌تر از مدل غیرخطی با استفاده از ANN بوده که دلیل این امر تفاوت معنی‌دار ضرایب همبستگی بوده است.

به منظور مقایسه روش‌های فوق، جدول مقایسه دقت آن‌ها در تعیین سفتی محاسبه گردید (جدول 5). طبق نتایج به دست آمده، خطا در مرحله آموزش برای برنامه‌نویسی ژنتیک، شبکه عصبی، رابطه 1 و رابطه 2 به ترتیب 0/3693461، 0/4071746، 1/014365 و

بعد از مرحله آموزش و تعیین تعداد نرون‌ها در لایه میانی مقدار سفتی توسط شبکه پیش‌بینی گردید. شکل 6 نمودار مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر به دست آمده از دستگاه آزمون مواد را نمایش داده است. همانطور که در شکل مشخص است یک رابطه خطی قوی با ضریب همبستگی 0/93 بین مقادیر واقعی با مقدار پیش‌بینی شده وجود دارد. Mao و همکاران (2016) استفاده از بهینه‌سازی دستگاه آکوستیک، روشی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی کیفیت هندوانه ارائه دادند. آن‌ها همبستگی معنی‌داری بین استحکام و شاخص‌های سفتی

بوده است که دارای قدرت بالاتری در پیش‌بینی میزان سفتی میوه به هستند.

0/90038524 و برای مرحله آزمون 0/3644833، 0/4311552. با توجه به مقادیر به‌دست آمده بهترین روش برنامه‌نویسی ژنتیک و پس از آن روش شبکه عصبی

جدول 5- مقایسه دقت معادلات توسعه داده شده به منظور تعیین سفتی

مدل	آموزش	آزمون	کل
شبکه عصبی	0/383	0/431	0/407
برنامه نویسی ژنتیک	0/374	0/364	0/369
$FI = f^2 m^{\frac{2}{3}}$	1/014	1/014	1/014
$SIQ - FT = C \left[\frac{P_{max}}{\int p(t) dt} \right]^2$	0/891	0/901	0/900

به منظور تعیین سفتی در مدت انبارمانی مورد ارزیابی قرار گرفت؛ سپس با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی مدل‌سازی صورت پذیرفت و نتایج حاصله با مدل‌های موجود (SQI-FT و FI) مقایسه شدند. بدین ترتیب با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی و نتایج حاصل از همبستگی، مناسب‌ترین مدل در پیش‌بینی مقدار سفتی محصول "به" مدل‌سازی به روش برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی با ضریب همبستگی به ترتیب 0/9567 و 0/933 نسبت به دو مدل موجود (SQI-FT و FI) با ضریب همبستگی به ترتیب 0/601 و 0/754 معرفی شد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می‌نمایند.

نتیجه‌گیری

یکی از عوامل موثر و تاثیرگذار در میزان بازارپسندی میوه "به" سفتی آن می‌باشد. در این پژوهش ویژگی‌های صدا و آزمون‌های مخرب

منابع

- اکبری بیشه، ح، حسینی، آ، کریمی، ن. (1393). تاثیر پرمنگنات پتاسیم و گرمادهی بر کیفیت و عمر انبارمانی میوه رقم به اصفهان. اولین همایش ملی فناوری‌های نوین.
- امرای، س؛ آبدانان مهدی زاده، س. و سالاری، س. (1395) سامانه برآورد وزن جوجه‌های گوشتی به صورت جداگانه با استفاده از پردازش تصویر و آنالیز رگرسیون چندگانه، مهندسی بیوسیستم ایران، دوره 47، شماره 4، ص 615-623.
- بیاتی، م. ر، رجبی پور، ع، مبلی، ح، ایوانی، ا. و بدیعی، ف. (1395). ارزیابی انبارمانی سیب گلاب با روش‌های صوتی و نفوذسنجی. نشریه ماشین‌های کشاورزی. جلد 6، شماره 1، ص 188-200.
- بی‌نام، آمارنامه کشاورزی کل کشور 1395. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، نشریه شماره 2008668.
- جهانگیری صالح، حسن بیگی، ابونجمی و لطفی. (2016). پیش‌بینی پاسخ آکوستیک، شاخص تردی و سفتی میوه خیار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. علوم و صنایع غذایی ایران، 14(63)، 265-276.

- سلطانی کاظمی، م.، آبدانان مهدی‌زاده، س.، نداف‌زاده، م. (1396). برآورد میزان دو آنزیم PPO و POD موز با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتالی و آنالیز رگرسیونی چندگانه در طول دوره انبارمانی. فناوری‌های نوین غذایی، 5(4)، 597-612.
- سلطانی کاظمی، م.، آبدانان مهدی‌زاده، س.، حیدری، م. و فارغ، س. م. (1396a). پیش‌بینی تغییرات برخی از ویژگی‌های کیفی آب توت سیاه (*Morus alba* Var *nigra* L.) طی مراحل مختلف رسیدگی بر اساس آنالیز فرکتال و بینایی ماشین. نشریه پژوهش‌های علوم صنایع غذایی ایران، 5(13)، 743-730.
- سلطانی کاظمی، م.، آبدانان مهدی‌زاده، س.، حیدری، م.، و فارغ، س. م. (1396b). استخراج موثرترین طول موج‌های طیف آب میوه توت سیاه (*Morus alba* Var *nigra* L.) با استفاده از مدل‌های مختلف رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLSR). مجله علوم و صنایع غذایی ایران، 6(9)، 241-229.
- هادیان دلجو، م. و ساری‌خانی، ح. (1391). ارزیابی اثر سالیسیلیک اسید بر حفظ کیفیت پس از برداشت میوه سیب رقم "گلاب کهنز" به زراعی کشاورزی. 14، 2، 1391، 82-71.
- Abbaszadeh. R., Rajabipour. A., Mahjoob. M., Delshad M., Ahmadi. H. (2013). Evaluation of watermelon texture using their vibration responses. Sciverse ScienceDirect 115: 102-105.
- Abdolahzare, Z., Abdanan Mehdizadeh, S. (2016). Nonlinear Mathematical Modeling of Seed Spacing Uniformity of a Pneumatic Planter using Genetic Programming and Image processing, Neural Computing and its application, 27(6), 1-13.
- Chen, H., De Baerdemaeker, J., Vervaeke, F., (1992). Acoustic impulse response of apples for monitoring texture changes after harvest, Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, October 1992, Beijing, China.
- Costa. F., Cappellin. L., Longhi. S., Guerra. W., Magnago. P., Porro. D., Soukoulis. Ch., Salvi. S., Velasco. R., Biasioli. F., Gasperi. F. (2011). Assessment of apple (*Malusa × domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest Biology and Technology* 61: 21-28.
- De Ketelaere, B., et al. (2006). "Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques." *Postharvest Biology and Technology*. 41.3 275-284.
- Gómez, A.H., Wang, J., Pereira, A.G., (2005). Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2), 209-215.
- Javadikia1, H., Sabzi, S., I. Arribas, J., (2018). An automatic and non-intrusive hybrid computer vision system for the estimation of peel thickness in Thomson orange. *Spanish Journal of Agricultural Research* 16 (4), e0204, 15 pages. eISSN: 2171-9292.
- Laura Corollaro. M., Aprea. E., Enderizzi. I., Betta. E., Luisa Dematte. M., Charles. M., Bergamaschi. M., Costa. F., Biasioli. F., Corelli Grappadelli. L., Gasperi. F. (2014). A combined sensory-instrumental tool for apple quality evaluation. *Postharvest Biology and Technology* 96:135-144.
- Mao. J., Yu. Y., Rao. X., Wang. J. (2016). Firmness prediction and modeling by optimizing acoustic device for watermelons. *Journal of Food Engineering* 168 : 1-6.
- Muttill, N., Lee, J.H., (2005). Genetic programming for analysis and real-time prediction of coastal algal blooms. *Ecol. Model.* 189 (3), 363-376.
- Nadafzadeh, M. Abdanan Mehdizadeh, S., Soltanikazemi, M. (2018). Development of computer vision system to predict peroxidase and polyphenol oxidase enzymes to evaluate the process of banana peel browning using genetic programming modeling. *Scientia Horticulturae*, 231, 201-209.
- Naganur HG, Sannakki SS, Rajpurohit VS, Arunkumar R, (2012). Fruits sorting and grading using fuzzy logic. *Int J Adv Res Comput Eng Technol* 1 (6): 117-122.
- Orenes-Piñero, E., García-Carmona, F., Sánchez-Ferrer, A., (2006). Latent polyphenol oxidase from quince fruit pulp (*Cydonia oblonga*): purification, activation and some properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), pp.2172-2178.
- Santosa W. D., Kholidi F. (2010). The Use of Clay as Potassium Permanganate Carrier to Delay the Ripening of Raja Bulu Banana. *Journal. Horticulture*. Indonesia , 1(2):89-96.
- Schotte, S., De Belie, N., De Baerdemaeker, J., (1999). Acoustic impulse-response technique for evaluation and modelling of firmness of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 17 ,105-115.
- Shmulevich, I., N. Galili, M. S. Howarth. (2003). Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Biology and Technology* 29: 2287-299.
- Singh, Krishna K., B. Sreenivasula Reddy. (2006) "Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit." *Journal of food engineering*. 73.2 112-120.
- Tamure, C., Teryaki, O, (2012), Irradiation alone or combined with other alternative treatment to control postharvest diseases. *African Journal of Agricultural Research*, 8: 421-434.

- Thendral.R, Suhasini.A, (2017). Automated skin defect identification system for orange fruit grading based on genetic algorithm. *Current Sci* 112 (8): 1704-1711.
- Xiaobo, Z., Jiewen, Z., Yanxiao, L., (2007). Apple color grading based on organization feature parameters. *Pattern Recognit. Lett.* 28 (15), 2046–2053.
- Zhao, J.W., Zou, X.B., Pan, Y.F., Liu, S.P., (2004). Research on method of apples odorant recognition based on GA neural network. *J. Jiangsu Univ. Sci. Technol.* 25 (1), 1–4.



Development of predictive model to determine Quince fruit firmness using genetic programming and Neural Network during storage

S.Naziri¹, S. Abdanan Mehdizadeh^{2*}, M. Heydari³

Received: 2019.09.03

Accepted: 2019.10.26

Introduction: Texture represents one of the four principal factors defining food/fruit quality, together with appearance, flavour and nutritional properties (Bourne, 2002), and plays a key role in consumer acceptability and recognition of quince. Textural characteristics of quinces defined by “crispness”, “juiciness”, “hardness”, “firmness” and “mealiness” are often key drivers of consumer preference. Many non-destructive methods, including image analysis, spectroscopy, ultrasound and sound techniques, have been developed to diagnose internal and external defects in fruits and vegetables. Cheng and Haugh (1994) used a frequency of 250-kHz, rather than 1-MHz, to detect hollow heart. They were not able to transmit successfully the ultrasound wave through the whole tuber using 1-MHz transducers but found the 250-kHz transducers to be practical for a transmission path length of up to 89.7 mm. In a research an acoustic setup was developed to simultaneously detect the resonant frequencies from equator and from calyx shoulder of pear. The researchers proposed index based on these two frequencies was used for firmness evaluation of non-spherical pear; Compared with two types of single frequency-based indices, the firmness sensitivity of the dual-frequency index is mostly close to that of MT penetration test. The firmness index can classify pears with a high total accuracy (93.4%), making it suitable for nondestructive detection of firmness of differently shaped pears (Zhang et al., 2018). The goal of this study was to develop a nondestructive method based on acoustic impulse response of quince fruit using genetic programming and artificial neural network during storage.

Materials and Methods: In the experiment 120 quince fruits (*Cydonia oblonga*) were harvested from a field near Isfahan 181 days after full flowering of the trees. For each cultivar, only samples of similar size and without visible external damage were chosen. The samples were packed in sterile nylon bags and stored at 4°C. Non-destructive test (acoustic response) as well as destructive test (chemical measurement and penetration test) were performed every 15 days for 4 months (Akbari Bisheh et al., 2014). Total soluble solids (TSS) were determined by a hand refractometer device (model: MT03 Japan) and expressed as °Brix. Ascorbic acid of the juice was measured by titration with copper sulfate and potassium iodide based on the Barakat et al. (1973) procedure. Titratable acidity was measured according to the AOAC method. To determine the total phenol content of juice, the Waterhouse method (2000) was used. Determination of the pH of the fruit extract using a pH meter (Portable Model P-755, Japan). Physical attributes of the samples including volume as well as major, minor, intermittent diameters and mass were calculated using the relations proposed by Stroshine and Hammand (1994). Penetration test was conducted by the material test machine (SANTAM, STM-20 model, Iran).

In order to analyze the response sound signal of quince in time and frequency domain, a system equipped with a sample holder with foam rubber covered surface, an impact mechanism, a microphone and an electronic circuit was utilized. To record impact sound features a microphone was positioned next to the fruit and was hit at three speed level (0.3, 0.9 and 1.5 m/s). After recoding sound, five features (acoustic peak, maximum acoustic pressure, mean acoustic pressure and natural frequency) were extracted and used as inputs for models. In order to predict the stiffness, four methods of genetic programming, neural network and existing mathematical models (FI and SIQ-FT) were used. In order to carry out statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test at 5% probability level were performed according to the completely randomized design (CRD).

Results and discussion: In this study, Duncan's multiple range comparison test was used to investigate the significant difference between destructive and non-destructive parameters at 5% probability level. According to the results, acoustic peak, maximum acoustic pressure, mean acoustic pressure and natural frequency were decreased by increasing storage time. Statistical analysis of the destructive tests also showed a decreasing trend at the 5% level. In several papers, two

1. Graduate Student of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

2. Assistant Professor of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

3. Associate Professor of Horticultural Science Department, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.

(*Corresponding author: saman.abdanan@gmail.com)

mathematical equations have been used to obtain the relationship between the mass resonance frequency and the sound of impact. In this study, genetic programming and neural network modeling were used to compare the results of these relationships. The regression coefficients between the actual and the predicted values for the resonance-mass relation and the effect of the sound from the collision were $R^2= 0.601$ and $R^2= 0.754$, respectively. Also, the regression values obtained from genetic programming and neural network modeling were $R^2= 0.9567$ and $R^2 = 0.933$, respectively. In a research, the overall R^2 value amounts for stiffness prediction was reported to be 0.79 (Schotte *et al.*, 1999). Abbaszadeh *et al.* (2013) evaluated watermelons texture using their vibration responses. They declared their proposed method could predict textural acceptability of watermelons with determination coefficients 0.99. According to the obtained values, the best methods for stiffness prediction were genetic programming and f neural network methods, respectively.

Keywords: Genetic Programming, Neural Network, Quince fruit, Storage, Stiffness.

مقاله علمی - پژوهشی

اثر آنتی‌اکسیدانی سلنیت سدیم میکروکپسوله شده به روش تبخیر حلال، در روغن سویا در طول مدت یکسال نگهداری

فروزان جلالی زند¹ - محمد گلی^{2*}

تاریخ دریافت: 1398/06/15

تاریخ پذیرش: 1398/10/28

چکیده

در این تحقیق با کپسوله کردن، سلنیوم به‌عنوان ریزمغذی حیاتی و آنتی‌اکسیدان طبیعی جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی با آثار سوء شد. سلنیت سدیم با غلظت‌های (100، 300، 500، 700 و 900 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده) با ترکیبی از مواد دیواره شامل صمغ عربی (25، 26، 27، 28 و 29 درصد) و صمغ فارسی متناظر آن (5، 4، 3، 2 و 1 درصد) به روش تبخیر حلال پرداخته شد. دو فرمول بهینه شامل، بهینه یک و دو به ترتیب 390 پی‌پی‌ام و 480 پی‌پی‌ام کپسول (معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم)، آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول (200 پی‌پی‌ام) و نمک سلنیت سدیم (8/6 پی‌پی‌ام) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شد. سپس اندیس پراکسید، اسیدیت، تیوباریتوریک اسید، عدد آنیزیدین، عدد توتوکس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان در طول مدت زمان (صفر، 180 و 360 روز) با کمک نرم‌افزار SPSS آنالیز شد. با حضور آنتی‌اکسیدان سلنیت سدیم کپسوله شده و آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول در روغن سویا، عدد پراکسید، اسیدیت، تیوباریتوریک اسید، عدد آنیزیدین، عدد توتوکس کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش معنی‌دار یافت ($P < 0/05$). بر حسب تاثیرات مثبت آنتی‌اکسیدانی در روغن سویا ترتیب تیمارهای موثر و پیشنهادی این تحقیق شامل: بهینه 2 < بهینه 1 ≤ آنتی‌اکسیدان بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول < نمک سلنیت سدیم < شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان گزارش شد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند استفاده از آنتی‌اکسیدان سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه 1 و 2) به‌عنوان جایگزین آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول جهت افزایش ماندگاری روغن سویا را پیشنهاد نماید.

واژه‌های کلیدی: میکروکپسولاسیون، صمغ عربی، صمغ فارسی، سلنیت سدیم، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن سویا

مقدمه

می‌بخشد. اهداف اصلی کپسوله کردن محافظت از انواع ترکیبات فعال در برابر تبخیر، واکنش‌های شیمیایی یا مهاجرت به غذا، کنترل آزادسازی ترکیبات فعال بر اثر مرور زمان، حفاظت و پایداری مواد زیست‌فعال در طی فرآیند و انبارداری، جلوگیری از واکنش‌های نامطلوب با ترکیبات دیگر در محصول و مخفی کردن و پوشاندن طعم نامطلوب در طی عمل خوردن می‌باشد (Fang et al., 2010); Nedovic et al., 2011). روغن‌ها به‌عنوان یکی از ارزش‌ترین ترکیبات غذایی، منابع غنی از انرژی و پیش‌سازهای مهمی در فرآیندهای متابولیکی بدن به حساب می‌آیند. علاوه بر نقش‌های بیولوژیکی و تغذیه‌ای، در فرآوری مواد غذایی، تعیین کیفیت و خواص ارگانولیپیدیک فرآورده‌های غذایی نیز حائز اهمیت است و نقش مهمی در سلامت و ادامه حیات انسان داشته و در گروه مواد غذایی ضروری قرار می‌گیرند (Rahman et al., 2004). روغن‌ها را کنستانتره کالری می‌نامند زیرا نقش اساسی در متابولیسم بدن انسان دارند، به عنوان

امروزه غذاهای عملگر نقش مهمی در زندگی روزمره انسان ایفا می‌نمایند. غذاهای عملگر می‌توانند غذاهای طبیعی باشند یا غذایی باشد که ترکیبات سلامت‌بخش به آن افزوده شده و یا ترکیبات ساختمانی مضر از آن‌ها حذف شده باشد. برخی از ترکیبات مغذی نمی‌توانند به مدت چشم‌گیری در غذا باقی بمانند و اثر خود را از دست می‌دهند یا در اثر ترکیب با دیگر ترکیبات غذا باعث ایجاد اثرات نامطلوبی در غذا می‌شوند. انکپسولاسیون به‌عنوان یک تکنولوژی برای قرار دادن مواد جامد، مایع، گاز در کپسول‌های کوچک مطرح است. کپسول‌هایی که می‌توانند محتویات خود را به‌صورت کنترل شده و تحت شرایط خاصی آزاد کنند. این تکنولوژی با حفاظت مواد در برابر اکسیداسیون در طول مدت تولید و نگهداری از ایجاد عطر و طعم نامطلوب جلوگیری کرده و مانع از دست رفتن ارزش تغذیه‌ای و متابولیکی آن‌ها شده و زمان ماندگاری ترکیبات مغذی در غذا را بهبود

(Email: mgolifood@yahoo.com

* - نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.82850

1 و 2 - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

سموم بدن نقش کلیدی دارد (Mustacich and Powis, 2000). شواهدی موجود است مبنی بر این که کمبود سلنیوم ممکن است در ایجاد بیماری‌های قلبی، کم‌کاری تیروئید و ضعف سیستم ایمنی نقش داشته باشد (Combs, 2005). با توجه به آثار سلامتی بخش سلنیوم، غنی‌سازی رژیم غذایی با این عنصر به‌منظور تامین نیاز تغذیه‌ای انسان به آن حیاتی است.

روغن‌ها نقش بسیار مهمی در تغذیه و سلامتی ایفا می‌کنند اما این مواد با گذشت زمان و به ویژه تحت شرایط نامطلوب نگهداری اکسید می‌شوند در نتیجه ارزش تغذیه‌ای آن‌ها کاهش یافته و مخاطراتی را برای سلامت مصرف‌کنندگان به وجود می‌آورند. از جمله روغن‌های مستعد اکسایش روغن سویا است که به دلیل وجود مقدار نسبتاً زیاد اسیدهای چرب غیر اشباع در این روغن، پایداری آن در برابر اکسایش کم می‌باشد لذا استفاده از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در آن ضروری به نظر می‌رسد. امروزه با توجه به اثبات اثرات نامطلوب آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی نظیر بوتیل هیدروکسی‌آیزول، بوتیل هیدروکسی‌تولون و ترشیری بوتیل هیدروکسیون بر سلامتی انسان و نیز به دلیل تمایل روز افزون مصرف‌کنندگان به مصرف ترکیبات طبیعی، تلاش برای جایگزینی نگهدارنده‌های سنتزی با انواع غیرسنتزی رو به افزایش است. با توجه به این که سلنیوم یکی از منابع زیر مغذی و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به شمار می‌رود و خواص ضداکسیدانی، ضدسرطانی و درمانی دارد از این رو می‌توان با کپسوله کردن سلنیوم به‌منظور حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی، محافظت بالا و افزایش بازده اثرگذاری به‌عنوان جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی و حذف آن‌ها در صنعت غذا استفاده نمود.

در این تحقیق به بررسی میکروکپسولاسیون سلنیت سدیم با ترکیبی از مواد دیواره شامل صمغ عربی و صمغ فارسی متناظر با آن به روش تبخیر حلال پرداخته شد. سپس بهینه یک و دو، آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی‌آیزول و نمک سلنیت سدیم به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شدند و از نظر شاخص‌های اکسایش مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام پژوهش، اسیداستیک گلاسیال، الکل اتیلیک، پارآئیزیدین، تیوسولفات سدیم، پتاسیم دیدید، سدیم‌هیدروکسید، فنل‌فتالئین، کلروفرم، نشاسته، هگزان و هیدروکلریک اسید (مرک، آلمان)، بوتیل هیدروکسی‌آیزول (نیراچرم، آلمان)، اسیدتیوباریتوریک اسید (سروا، آمریکا)، سلنیت سدیم و توین 80 (سیگما، آمریکا) و صمغ فارسی (باربج اسانس، ایران) تهیه گردید. روغن سویا نیز از کارخانه طارم زنجان (ایران) خریداری شد.

جهت انجام این پژوهش میکروکپسول‌ها از طریق حل کردن

مثال انرژی حاصل از یک گرم چربی 9/2 کیلوکالری می‌باشد همچنین حاوی ویتامین‌های محلول در چربی (K, E, D, A) هستند. روغن‌های خوراکی حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب ضروری (به‌ویژه اسیدهای چرب چندغیراشباعی) هستند و بسیار مستعد اکسیداسیون می‌باشند (میرنظامی ضیابری، 1388). روغن سویا یکی از مهمترین روغن‌های گیاهی است که اهمیت آن به دلیل فراوانی، ارزانی، کیفیت خوب و بازده بالای آن می‌باشد. در این روغن به دلیل وجود مقادیر نسبتاً زیاد اسیدهای چرب غیراشباع گامالینولنیک اسید (C_{18:3})، پایداری آن در برابر اکسیداسیون کم بوده و مستعد اکسیداسیون می‌باشد. اکسیداسیون لیپیدها از مهمترین دلایل فساد مواد غذایی به حساب می‌آیند که بر رنگ، طعم، بافت و ارزش تغذیه‌ای تاثیر می‌گذارد و موجب به خطر افتادن سلامت بشر و بروز بیماری‌هایی نظیر سرطان می‌گردند (Chan et al., 1993). به‌منظور پایداری روغن‌ها و چربی‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها استفاده گردید (Sanchez-Moreno, 1999). آنتی‌اکسیدان‌ها به ترکیباتی گفته می‌شود که از طریق خاتمه دادن به واکنش‌های زنجیره‌ای مرحله آغاز و یا انتشار در فرآیند اکسیداسیون قادر به ایجاد تاخیر، کند کردن و حتی توقف فرآیند اکسیداسیون می‌باشند (Lindenschmidt, 1986). این ترکیبات می‌توانند به نحو مطلوبی از تغییر رنگ و طعم مواد غذایی در نتیجه واکنش‌های اکسیداسیون جلوگیری کنند (Halliwell et al., 1995; Lin et al., 2003). آنتی‌اکسیدان‌ها به دو دسته سنتزی و طبیعی طبقه‌بندی می‌شوند (Veligu, 1998). عموماً آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی با ساختار فنولیک (توکوفرول‌ها، فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک)، ترکیبات نیتروژنی (آلکالوئیدها، مشتقات کلروفیل، اسیدهای آمینه و آمین‌ها) یا کارتنوئیدها می‌باشند. آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی مانند ترشیری بوتیل هیدروکسیون (TBHQ)، بوتیل هیدروکسی‌آیزول (BHA)، بوتیل هیدروکسی‌تولون (BHT) و استرهای گالات در صنعت به طور معمول استفاده می‌شوند (Namiki, 1990). با توجه به نگرانی‌هایی که راجع به اثر سمیت‌زایی مربوط به آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی ابراز شده است. استفاده از این آنتی‌اکسیدان‌ها در بسیاری از غذاها محدود شده است. جستجوی جایگزین‌های طبیعی برای آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی منجر به بررسی آنتی‌اکسیدان‌های متعددی از منابع دیگر شده است (Shahidi, 2005). سلنیوم یک ریزمغذی ضروری برای سلامتی انسان است و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیرسنتزی قوی است که نقش مهمی در واکنش‌های اکسیداسیون و احیای داخل سلولی ایفا می‌کند. سلنیوم از خاک جذب شده و از طریق گیاهان وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شود (Rayman, 2000). سلنیوم جزء تشکیل‌دهنده سلنوپروتئین‌ها است که در بیوشیمی انسان نقش آنزیمی و ساختمانی دارند. سلنیوم به عنوان آنتی‌اکسیدان و کاتالیزور برای تولید هورمون تیروئید فعال شناخته شده است (Kohrle, 2005). این عنصر برای عملکرد صحیح سیستم ایمنی، جلوگیری از پیشرفت ایدز و بی اثر کردن

آزمون‌های فیزیکی

میکروکپسول‌های پودر شده حاصله تحت انجام تست‌های فیزیکی قرار گرفتند که شامل راندمان کپسولاسیون (کارایی)، اندازه ذرات و ساختار خارجی میکروکپسول‌ها بودند.

تخمین محتوای سلنیوم

محتوای سلنیوم میکروکپسول‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر جذبی-اتمی (A Analyst 800, Perkin Elmer, USA) (AAS) و از طریق روش AOAC (2005) در طول موج 196 نانومتر، تخمین زده شد به این صورت که میکروکپسول‌ها در معرض دمای 650 درجه سانتی‌گراد به مدت 8 ساعت قرار گرفتند و خاکستر شدند. به خاکستر حاصله اسیدکلریدریک 6 نرمال افزوده و به منظور انحلال کامل روی هیتر گرما داده شدند. نمونه‌ها برای آنالیز به‌طور مناسبی توسط AAS با طول موج بیشینه 248/3 نانومتر حل شد (گوبتا و همکاران، 2015).

کارایی کپسول‌سازی (EE)

در طول تهیه، میکروکپسول‌های سلنیوم از طریق فیلتراسیون از الکل جدا شدند. فرض شده است که سلنیوم در مواد باقی مانده به صورت کپسول یا گوی حضور دارد. سلنیوم کپسول‌سازی نشده در مواد فیلتر شده نیز حضور دارد. مواد باقی مانده تحت شرایط یخچالی (دمای 4 تا 7 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 تا 14 ساعت خشک شد. سلنیوم کپسول‌سازی شده در مواد باقی مانده با استفاده از AAS تخمین زده شدند. محتوای سلنیوم که در ابتدا برای تهیه میکروکپسول‌های سلنیوم اضافه شد به عنوان محتوای کل سلنیوم در نظر گرفته شد و سلنیوم کپسول شده در مواد باقی مانده تخمین زده شد. ماده فیلتر شده حاوی مقادیر قابل توجهی الکل فرار بود که کار اندازه‌گیری حجمی و نقلی را مشکل کرد، بنابراین سلنیوم کپسول شده در ماده باقی مانده اندازه‌گیری شد. EE از طریق فرمول زیر اندازه‌گیری شد:

$$EE = \frac{\text{Bound Selenium}}{\text{Total Selenium}} \times 100 \quad (1)$$

اسکن میکروسکوپ الکترونی

ساختار خارجی میکروکپسول‌های پودر شده از طریق اسکن میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. میکروکپسول‌ها بر روی استوب اسکن میکروسکوپ الکترونی با استفاده از یک چسب دو لایه محکم شدند. نمونه‌های نصب شده با طلا (به ضخامت 20 نانومتر) پوشانده شدند (پوشش یونی) و به مدت 4 دقیقه در torr/07-0/05 این پوشش یونی در 6 میلی‌آمپر نگه داشته شد. در نهایت نمونه‌ها از طریق اسکن میکروسکوپ الکترونی در یک ولتاژ 15 کیلووات تحت شرایط خلاء بالا بررسی شدند و ریزنگارها ثبت شدند (گوبتا و همکاران، 2015).

ترکیب صمغ عربی با نسبت‌های (25، 26، 27، 28 و 29 درصد) و صمغ فارسی با نسبت‌های (1، 2، 3، 4 و 5 درصد) در 10 سی‌سی آب مقطر 60 درجه سانتی‌گراد به‌دست آمدند. سپس به‌منظور هیدراته‌سازی مجدد به مدت 12 ساعت در یخچال با دمای 4 تا 7 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سلنیت سدیم با نسبت‌های (100، 300، 500، 700 و 900 میلی‌گرم) در 10 سی‌سی آب مقطر حل شدند و به محلول ترکیبی مجدداً هیدراته شده، اضافه شدند. ترکیب فوق در 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد، سپس تحت تاثیر حمام اولتراسونیک در همین دما به مدت 18 دقیقه با فرکانس 50 هرتز قرار گرفت. این ترکیب سپس با اسپری با فشار 2 بار به الکل سرد (اتانول 96%) که توسط مگنت با سرعت 500 rpm در حال چرخش بود، اسپری شد. ترکیب به مدت 5 دقیقه رهاسازی شد. سپس فیلتراسیون تحت خلاء توسط کاغذ واتمن صورت گرفت. به منظور تبخیر کامل الکل باقی مانده در میکروکپسول‌ها و خشک شدن کامل آن‌ها باید تحت دمای پایین قرار می‌گرفتند، بدین منظور مواد باقی مانده درون یک پتری دیش پخش شدند و درون دسیکاتور قرار داده شدند و به مدت 12 تا 14 ساعت در یخچال 4 تا 7 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس میکروکپسول‌های حاصله توسط هاون آسیاب شد و در ظرفی در دمای اتاق نگهداری شدند. (گوبتا و همکاران، 2015). پس از تهیه میکروکپسول‌ها، کارایی کپسولاسیون و آنالیز اندازه ذرات میکروکپسول‌ها مشخص گردید. سپس با کمک نرم‌افزار RSM، بهینه‌سازی براساس بالاترین راندمان کپسولاسیون و پایین‌ترین اندازه ذرات، صورت گرفت. میکروکپسول‌های سلنیت‌سدیم با دو فرمول بهینه، شامل بهینه یک (صمغ عربی 27 درصد و صمغ فارسی 3 درصد، سلنیت سدیم 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر) و بهینه دو (صمغ عربی 28 درصد و صمغ فارسی 2 درصد، سلنیت سدیم 109 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر) با در نظر گرفتن حد مجاز سلنیوم به ترتیب مقدار 390 پی‌پی‌ام و 480 پی‌پی‌ام (حاوی 8/6 پی‌پی‌ام سلنیوم)، آنتی‌اکسیدان سنتزی BHA (200 پی‌پی‌ام) و نمک سلنیت‌سدیم (8/6 پی‌پی‌ام) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شدند و در دمای 55 درجه سلیسیوس، در مدت زمان (صفر و 23 و 46 روز) که معادل دمای 20 درجه سلیسیوس (صفر، 180 و 360 روز) بود، قرار گرفتند. آزمون‌های شیمیایی اندیس پراکسید، اسیدپته، TBA، آنیزیدین، توتوکس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها با روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان مقایسه شد. لذا به‌منظور جلوگیری از تنشین شدن میکروکپسول‌ها در روغن، از توئین 80 استفاده شد. به این منظور 390 پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه 1 به همراه 185 پی‌پی‌ام توئین 80 و مقدار 480 پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه 2 به همراه 235 پی‌پی‌ام توئین 80 به مقدار کمی روغن افزوده و به مدت 5 دقیقه روی شیکر قرار گرفته و سپس به کل روغن اضافه شدند.

آنالیز اندازه میکروکپسول‌های سلنیوم

میکروکپسول‌ها روی اسلایدهای شیشه‌ای قرار داده شدند و یک یا دو قطره آب مقطر برای پخش مناسب میکروکپسول‌ها بر روی اسلاید شیشه‌ای بر روی آن‌ها چکانده شد. میکروکپسول‌ها توسط میکروسکوپ نوری (با بزرگ‌نمایی 400 برابر) مشاهده و با استفاده از یک دوربین دیجیتال مناسب عکسبرداری شدند. اندازه میکروکپسول‌ها با استفاده از نرم افزار Nikon Basic Research Imaging inbuilt (Software (v) 1/3) و میکروسکوپ تخمین زده شد (گویتا و همکاران، 2015). سپس با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمون‌های فیزیکی بهترین فرمولاسیون از طریق RSM به دست آمد و دو نمونه بهینه 1 و 2 انتخاب شدند.

با در نظر گرفتن حد مجاز مصرفی سلنیوم (55 میکرون نیاز روزانه) و سهم روغن مصرفی (یک قاشق غذاخوری برابر با 14 گرم یا 15 میلی‌لیتر)، مقدار سلنیوم خالص و پس از آن مقدار نمک سلنیت سدیم در یک کیلوگرم روغن محاسبه گردید. با استفاده از مقادیر حاصله میزان پودر کپسول‌های بهینه 1 و 2 تعیین شد. مقدار 390 پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه 1 به همراه 185 پی‌پی‌ام توپین 80 و مقدار 480 پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه 2 به همراه 235 پی‌پی‌ام توپین 80، 200 پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان بوتیل هیدروکسی آنیزول و 6/8 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم، هر کدام جداگانه به روغن سویای تصفیه شده فاقد آنتی‌اکسیدان تهیه شده از کارخانه طارم زنجان با مشخصات شیمیایی اندازه‌گیری شده در روز صفر شامل (عدد پراکسید: 1 میلی‌کی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن، اسیدیته: 112/8 میلی‌گرم اولتیک اسید بر کیلوگرم روغن، عدد تیوباربتوریک اسید: 0/0192 میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم روغن، عدد آنیزیدین: 3/7535، عدد توتوکس: 5/7535 میلی‌کی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن و فعالیت آنتی‌اکسیدانی) افزوده شدند.

آزمون‌های شیمیایی روغن

عدد پراکسید به روش (Firestone, 1994)، آزمون تیوباربتوریک اسید به روش ایگان و همکاران (1997)، اندیس آنیزیدین به روش Tompkins و همکاران (1999)، اندیس اسیدیته مطابق با استاندارد ملی ایران، شماره 4179، ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش قنبری و همکاران (1385)، اندیس توتوکس به روش Wanasundara و Shahidi (2005) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در مرحله اول برای میکروکپسوله کردن از دو فاکتور A شامل غلظت صمغ عربی (25، 26، 27، 28، 29%) و صمغ فارسی متناظر آن به ترتیب (5، 4، 3، 2، 1%) و فاکتور B (80، 85، 90، 95، 100%) با استفاده شد. برای تحلیل نتایج 22 تیمار و انتخاب دو نمونه بهینه با

کمک نرم‌افزار Design Expert طرح مرکب مرکزی با دوتکرار و $\alpha=2$ استفاده گردید. در مرحله دوم برای آزمون روغن، دو نمونه بهینه به همراه نمونه نمک سلنیت سدیم، نمونه دارای BHA و نمونه روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان در روزهای صفر، 23 و 46 نگهداری در دمای 55 درجه سانتی‌گراد با انجام آزمون‌های شیمیایی در 3 تکرار مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. برای این منظور از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد، سپس تحلیل نتایج با کمک نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با LSD در سطح احتمال 95 درصد ($p<0.05$) انجام و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

تاثیر تغییرات صمغ عربی، صمغ فارسی و سلنیت سدیم بر کارایی و سایز میکروکپسول‌ها پارامترهای اندازه‌گیری شده به منظور بهینه‌سازی میکروکپسول‌های سلنیت سدیم

در 22 تیمار اولیه مشخص شده به منظور تهیه بهترین فرمولاسیون، پارامترهایی از جمله کارایی میکروکپسول‌ها، شکل میکروکپسول‌ها و سایز میکروکپسول‌ها مورد آزمون قرار گرفت و نتایج آن در جدول گزارش شده است. نتایج نشان داد که میکروکپسول‌های تهیه شده با درصد صمغ عربی بیشتر (29 درصد) و صمغ فارسی کمتر (1 درصد) دارای راندمان بالاتری نسبت به میکروکپسول‌های با درصد صمغ عربی کمتر (25 درصد) و صمغ فارسی (5 درصد) بیشتر بودند. علت این امر می‌تواند مربوط به ویژگی‌های ساختاری و منحصر به فرد این دو صمغ باشد. علی، زیدا و بلوندن (2009) و سارکار و همکاران (2013) گزارش کردند که صمغ عربی، یکی از متداول‌ترین مواد دیواره استفاده شده در میکروکپسول‌سازی است زیرا دارای چسبناکی پایین، امولسیون‌سازی خوب، پایداری بالا و تشکیل فیلم است. این صمغ دارای قابلیت بسیار خوب نگهداری مواد فرار و محافظت موثر در برابر اکسیداسیون است (گاباس، تلیس، سوپرال و تلیس، 2007؛ ریگتو و نتو، 2005). صمغ عربی دارای ساختار شاخه‌ای پیچیده‌ای است که باعث فشردگی است و در نتیجه افزایش کارایی کپسولاسیون می‌شود (Tombs & Harding, 1998). همچنین صمغ عربی به دلیل خاصیت امولسیون‌کنندگی، ویسکوزیته پایین و قابلیت ایجاد پایداری بالا می‌تواند ماتریکس و ساختار قوی و محکمی را در اطراف هسته به وجود آورد (Madene et al., 2006; Mcnamee et al., 1998). صمغ عربی به عنوان ماده میکروکپسول‌سازی جهت بهبود کارایی کپسولاسیون و خصوصیات اتصال به کار برده می‌شود (کارنبرو و همکاران، 2013). بنابراین می‌توان گفت با افزایش غلظت صمغ عربی، کارایی کپسولاسیون افزایش می‌یابد. صمغ فارسی در غلظت‌های بالا، ویسکوزیته ظاهری بالا از خود نشان می‌دهد. به طوری که ویسکوزیته

دلیل تفاوت ساختار مولکولی صمغ‌ها باشد. به طوری که صمغ فارسی به علت شکل مولکولی خطی و خشک و غیرقابل انعطاف، حجم هیدرودینامیک بالایی دارد و سبب ایجاد ویسکوزیته بیشتر در این صمغ می‌شود (Vardanabht *et al.*, 2006). همچنین ظرفیت جذب آب این صمغ زیاد است به طوری که منجر به تولید ژل یا محلول‌های با گرانروی بالا می‌شود (Simas *et al.*, 2010). بنابراین با توجه به موارد ذکر شده افزایش غلظت صمغ فارسی نسبت به صمغ عربی، باعث کاهش کارایی کپسولاسیون می‌شود.

ظاهری در غلظت‌های کمتر از یک درصد ناچیز و در غلظت‌های بالاتر ویسکوزیته افزایش میابد به عبارت دیگر مولکول‌ها در محلول رقیق هیدروکلوئید به صورت آزادانه و مستقل، بدون درگیری با یکدیگر در حال حرکت و جابه‌جایی هستند. در حالی که در غلظت‌های بالاتر، تجمع مولکول‌ها و تعداد زیاد آن‌ها در واحد حجم باعث برخورد، درگیری و هم‌پوشانی آن‌ها با یکدیگر شده و همین امر باعث افزایش ویسکوزیته محلول می‌شود. (فرحناکی و همکاران، 1387). ویسکوزیته ظاهری صمغ فارسی در مقایسه با صمغ عربی در غلظت یکسان، بیشتر است (Whistler, 1993; Gilcksmann, 1969). این اختلاف می‌تواند به

جدول 1- نمایش مقادیر پاسخ‌های آزمون‌های کارایی و سائز

Arabic gum (%)	Farsi gum (%)	Na-selenite (mg/20cc)	EE (%)	Particle-size (µm)	Run
25	5	500	96/22	95	10
25	5	500	71	100	14
26	4	700	55	100/33	4
26	4	300	71/23	70	9
26	4	300	70	75	11
26	4	700	58	94/42	13
27	3	500	69/63	80	2
27	3	500	73	87/5	5
27	3	500	68/15	90	6
27	3	100	71/79	37/5	8
27	3	100	67/3	42/75	15
27	3	500	72	83/33	16
27	3	900	60	94/64	18
27	3	500	68	81/25	19
27	3	900	62	108	20
27	3	500	79	85	22
28	2	300	88/29	81/25	1
28	2	700	82/26	90	3
28	2	300	91	75	7
28	2	700	81	100	12
29	1	500	82/91	85/41	17
29	1	500	85	91/66	21

شد. از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت‌های 4:1:1، 1:4:1، 1:1:4، 2:2:2، 3:2:1، 3:1:2 استفاده شد و اثر آن بر کارایی ارزیابی گردید بالاترین کارایی کپسول‌سازی (91/58 درصد) را نشان داد و مشخص شد که ترکیب دیواره 4:1:1 که دارای بالاترین میزان صمغ عربی بود، بالاترین کارایی را داشت و کارایی با کاهش

گویتا و همکارانش (2015) میکروکپسول‌های آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با استفاده از روش تبخیر حلال اصلاح شده تهیه کردند. پارامترهای پروسه برای تهیه ماکسیمم کارایی کپسول‌سازی و پایداری میکروکپسول‌ها بهینه‌سازی شدند از ترکیب مختلف مواد دیواره برای تهیه میکروکپسول‌ها استفاده

میکروکپسول‌ها پاره شده و هسته خارج شده و سبب کاهش کارایی کپسولاسیون گردیده است همچنین با افزایش غلظت هسته نسبت به ماده دیواره، ماده دیواره کافی برای کپسوله کردن و احاطه هسته وجود ندارد در نتیجه باعث کاهش تعداد کپسول‌ها شده و کارایی کپسولاسیون کاهش می‌یابد. (آکدینیز، 2017). در نسبت‌های بالای هسته به دیواره، برای هر ذره هسته توانایی محافظتی کمی وجود دارد که باعث کاهش کارایی کپسولاسیون می‌شود. (زیلبرویم و همکاران، 1986) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علت کاهش کارایی کپسولاسیون با افزایش غلظت سلنیت سدیم بوده است. نمونه بهینه 1 دارای راندمان 79/63 درصد و نمونه بهینه 2 دارای راندمان 95/10 درصد بدست آمد.

گوپتا و همکاران (2015) مقادیر مختلف نمک آهن (300، 500، 800 و 1000 میلی‌گرم) برای تهیه میکروکپسول‌های آهن بکار برده شد و اثر آن بر کارایی ارزیابی شد. آهن حاوی 300 میلی‌گرم بالاترین کارایی را در مقایسه با دیگر میکروکپسول‌ها نشان دادند. کارایی به شدت با افزایش غلظت آهن کاهش پیدا کرد. آکدینیز و همکاران (2017) به بررسی اثر مواد دیواره در نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (0:10، 4:6 و 2:8) و نسبت‌های مختلف هسته به ماده دیواره (1:20 و 10:1) در کپسولاسیون عصاره ترکیبات فنولی پوسته پیاز پرداختند. نتایج نشان داد که به طور کلی در میکروکپسول با نسبت هسته به ماده دیواره 1:20، کارایی بالاتر و در میکروکپسول با نسبت هسته به ماده دیواره 1:10، کارایی پایین‌تر مشاهده شد. آهن‌گران و همکاران (1394) در فرآیند کپسوله کردن اپوکسی با پلی‌متیل‌متاکریلات مشاهده کردند که نسبت وزنی بالای هسته به ماده دیواره 6:1، تعدادی از کپسول‌ها پاره یا منقبض شده و کارایی کپسولاسیون کاهش یافت.

اندازه‌گیری سایز ذرات یکی از آزمون‌های با اهمیت برای میکروکپسوله کردن ترکیبات می‌باشد. نتایج نشان داد که میکروکپسول‌های تهیه شده با غلظت صمغ عربی بیشتر (29 درصد) و صمغ فارسی کمتر (1 درصد) سایز کوچکتری نسبت به میکروکپسول‌های با درصد صمغ عربی کمتر (25 درصد) و صمغ فارسی (5 درصد) بیشتر داشتند. می‌توان بیان کرد که کاهش در سایز میکروکپسول‌ها با افزایش غلظت صمغ عربی در دیواره، به دلیل خصوصیات و ساختار پیچیده این صمغ می‌باشد که باعث فشرده‌سازی ترکیب کروی و ایجاد پایداری بالا می‌شود (تومیس و هاردینگ، 1998) که در این حالت با حداکثر توانایی، محافظت از ذرات در برابر تجمع و به هم چسبیدن را در طی فرآیند کپسولاسیون اعمال می‌نماید (فرحناکی و همکاران، 1387) در صورتی که افزایش صمغ فارسی به علت خاصیت جذب آب بالای آن و قابلیت تشکیل ژل باعث متورم شدن آن و افزایش سایز میکروکپسول‌ها می‌شود. مقایسه سایز ذرات به دست آمده با مقالات دیگر به این صورت می‌باشد:

صمغ عربی کاهش یافت که با نتایج به دست آمده این پژوهش مطابقت داشت. کاناکدان و همکاران (2007) در طی پژوهشی مشاهده کردند ترکیب صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت 4:1:1 نتایج بهتری در مقایسه با صمغ عربی 100 درصد به دست داد. میکروکپسول‌های با صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت 1:4:1 و 1:1:4 بعد از اسپری الکل به صورت یک توده متراکم تهیه شدند، بنابراین، جداسازی از الکل بسیار مشکل شد زیرا آن‌ها خلل و فرج کاغذ صافی را مسدود کردند. این می‌تواند به دلیل ظرفیت نگهداری آب بالای این دو ماده دیواره باشد. میکروکپسول‌های ایجاد شده کارایی پایین‌تری در مقایسه با دیگر تیمارها نشان دادند، بنابراین نسبت‌های 0:0:6 و 0:6:0 صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده برای تهیه میکروکپسول‌های آهن به کار برده نشدند. آکدینیز و همکاران (2017) به بررسی اثر مواد دیواره مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین با نسبت‌های 4:6، 2:8 و 0:10 و نسبت‌های مختلف هسته به دیواره 1:20 و 1:10 در کپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی پوسته پیاز پرداختند. بر اساس نتایج حاصله با افزایش نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین در دیواره میکروکپسول‌ها، کارایی کپسولاسیون افزایش یافت به طوری که بالاترین کارایی کپسولاسیون در نسبت 0:10 و کمترین کارایی در نسبت 4:6 مشاهده شد همچنین در رابطه با سایز میکروکپسول‌ها دریافتند که در نسبت 1:20 هسته به دیواره سایز میکروکپسول‌ها کوچکتر از نسبت 1:10 به دست آمد. فراسکارلی و همکارانش (2012) روغن قهوه را به روش خشک‌کن پاششی توسط صمغ عربی ریزپوشانی کردند. ریزپوشانی صمغ عربی را در نسبت‌های 10 تا 30 درصد بررسی شد و بهترین حالت ریزپوشانی نسبت 30 درصد، یعنی بالاترین حالت بود. از این پژوهش دریافتند که هر چه غلظت صمغ عربی (غلظت دیواره) افزایش یافت راندمان ریزپوشانی روغن قهوه نیز افزایش یافت. کلیک و همکاران (2012) به بررسی میکروانکپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی تفاله آلبالو ترش توسط نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (0:10، 4:6 و 2:8) پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت صمغ عربی در دیواره کارایی کپسولاسیون افزایش یافت به طوری که نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین 0:10 بیشترین کارایی کپسولاسیون و نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین 4:6 کمترین کارایی را نشان دادند.

غلظت سلنیت سدیم به‌عنوان هسته حائز اهمیت است به طوری که میکروکپسول‌های با غلظت سلنیت سدیم کمتر (100 تا 300 میلی‌گرم بر لیتر)، کارایی بالاتری نسبت به میکروکپسول‌های با غلظت سلنیت سدیم بیشتر (700 تا 900 میلی‌گرم بر لیتر) داشتند. در کپسولاسیون باید نسبت وزنی هسته به دیواره متناسب باشد و در نسبت بالای هسته به دیواره، تعدادی از کپسول‌ها پاره و متلاشی می‌شوند. (Nikolov, 2005; Yang, 2011; آهن‌گران و همکاران، 1394). پس می‌توان بیان کرد که در غلظت‌های بالای سلنیت سدیم،

روش کوآسرواسیون مرکب با روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی را انجام دادند، لذا نانو ذرات حاوی امگا-3 توسط دیواره ژلاتین پوست ماهی قزل‌آلای رنگین کمان و صمغ عربی با استفاده از روش کوآسرواسیون مرکب تولید شدند. این روش قابلیت منحصر به فرد جداسازی الکترواستاتیکی فازهای مایع مایع بر اساس تجمع ماکروبیون‌های با بار مخالف را دارد. تأثیر سه متغیر مستقل غلظت ژلاتین - ماهی، غلظت اسید چرب امگا-3 و سرعت هموژنایزر بر متغیرهای وابسته از قبیل اندازه ذرات، میزان روغن سطحی، روغن کپسوله شده و کارایی ریزپوشانی، بررسی شد. بر اساس نتایج به دست آمده سرعت هموژنایزر بیشترین تأثیر را بر اندازه ذرات و اندازه داشت. همچنین تیمارهایی که در آن‌ها اسیدهای چرب امگا-3 بیشتری استفاده شده، در مقایسه با تیمارهای با امگا-3 کمتر، از روغن سطحی نانو ذرات بیشتری برخوردارند به طوری که با افزایش غلظت هسته (اسید چرب امگا-3) از 10 درصد به 30 درصد افزایش سایز ذرات از 114/5 نانومتر به 617/4 نانومتر رسید. پودرهای تولید شده کارایی ریزپوشانی در حدود 69/74 الی 98/41 درصد دارند.

به طور کلی نتایج نشان داد که نمونه بهینه 2 که حاوی غلظت سلنیت سدیم کمتری بود، اندازه کوچکتری نسبت به نمونه بهینه 1 داشت. سایز ذرات برای بهینه یک، 49/98 و برای بهینه دو، 46/71 بود. با توجه به نتایج حاصل از مقالات و نتایج به دست آمده از این تحقیق دلیل تفاوت در سایز ذرات به نوع روش کپسولاسیون و نوع ماده پوشش دهنده و نسبت آن وابسته می‌باشد

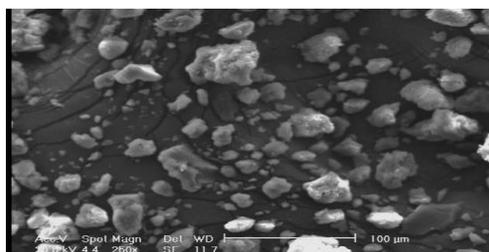
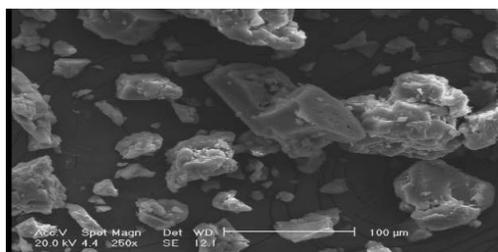
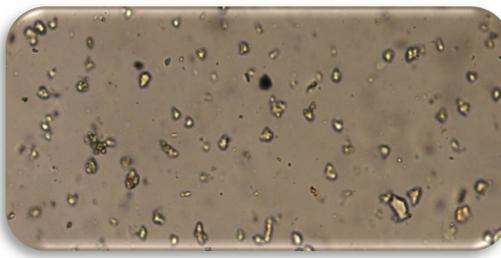
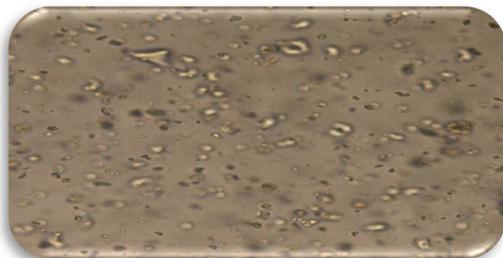
مورفولوژی ظاهری میکروکپسول‌های سلنیت سدیم در هر دو نمونه بهینه یک ساختار نسبتاً مدور با حداقل ترک‌ها را نشان داد. شکل مدور باعث به حداقل رسیدن پایداری میکروکپسول‌ها می‌گردد زیرا در این حالت نسبت حجم به سطح به حداقل می‌رسد. (گویتا و همکاران، 2015). آهنگرانی و همکاران (2016) طی تحقیقی به بررسی کپسوله کردن مواد با دیواره پلی‌متیل متاکریلات به روش تبخیر حلال پرداختند و شاهد کپسول‌های کروی با سطح نرم بودند. گویتا و همکاران (2015) با کپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با استفاده از روش تبخیر حلال، میکروکپسول‌های آهن با ساختار نسبتاً مدور با حداقل ترک‌ها را مشاهده کردند که این امر بستگی به سطح دارد. کاناکدان و همکاران (2007)، کریشان و همکاران (2005) و وایدیا و همکاران (2006)، میکروکپسول‌های تهیه شده از طریق روش خشک کردن پاششی را با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده کردند و دریافتند که صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت 4:1:1 باعث تشکیل میکروکپسول‌های مدور با سطح نرم شد. میکروکپسول‌های تشکیل شده از صمغ عربی به تنهایی، تا حدی گوی مانند بودند اما دندان‌های بسیاری بر روی سطح داشتند، درحالی که میکروکپسول‌های تشکیل شده از مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده تا حدی تخریبی شده بودند. رضوی‌زاده و همکاران

کلیک و همکاران (2012) به بررسی میکروانکپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی تفاله آلبالو ترش توسط نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (0:10، 4:6 و 2:8) پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین در دیواره، سایز کپسول‌ها کاهش یافت به طوری که نسبت 0:10 کمترین سایز و 6:4 بیشترین سایز کپسول را دارا بودند. خان محمدی و همکاران (2010) به مطالعه کپسوله کردن روغن سبوس برنج در نسبت‌های مختلف صمغ عربی و پروتئین آب پنیر و مقادیر مختلف روغن پرداختند. سایز قطرات امولسیون در امولسیون‌های هموژنیزه شده با استفاده از دستگاه نانوسایزر اندازه گیری شد و اندازه قطرات امولسیون‌های حاضر در حد نانو بوده و کمترین آن‌ها مربوط به صمغ عربی بود. همچنین در رابطه با اندازه‌های به دست آمده از پودرهای خشک‌کن پاششی و انجمادی بیانگر آن است که قطر میکروکپسول‌های به دست آمده از خشک‌کن انجمادی بزرگتر هستند و تا 60 میکرومتر می‌رسند و پودرهای خشک‌کن پاششی کوچکتر بوده و اندازه حدود 4 تا 8 میکرومتر دارند. نشان داد که نوع و غلظت دیواره بر اندازه ذرات پودر مؤثر بوده و باعث ایجاد تغییرات معنی دار در اندازه پودرها شدند. گویتا و همکاران (2015) به بررسی میکروانکپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با استفاده از روش تبخیر حلال پرداختند و اندازه‌گیری ذرات با میکروسکوپ نوری وارونه انجام شد و سایز ذرات در طیف 6/84 تا 33/42 میکرومتر بود.

غلظت سلنیت سدیم به‌عنوان هسته حائز اهمیت است به طوری که میکروکپسول‌های با غلظت سلنیت سدیم کمتر (100 میلی‌گرم بر لیتر)، سایز کوچکتری نسبت به میکروکپسول‌های با غلظت سلنیت سدیم بیشتر (900 میلی‌گرم بر لیتر) داشتند. زمانی که غلظت هسته افزایش یابد مواد دیواره برای احاطه کردن و پوشاندن هسته وجود نداشته در نتیجه باعث اتصال ذرات به یکدیگر و افزایش سایز میکروکپسول‌ها می‌گردد (آکدنیز و همکاران، 2017).

آکدنیز و همکاران (2017) به بررسی اثر مواد دیواره در نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (0:10، 4:6 و 2:8) و نسبت‌های مختلف هسته به ماده دیواره (1:20 و 10:1) در کپسولاسیون عصاره ترکیبات فنولی پوسته پیاز پرداختند. نتایج نشان داد که به طور کلی میکروکپسول با نسبت هسته به ماده دیواره 1:20، کمترین سایز کپسول (7 میکرومتر) و میکروکپسول با نسبت هسته به ماده دیواره 10:1، بزرگترین سایز کپسول (14 میکرومتر) را دارا می‌باشند. چویی و همکاران (2010) طی پژوهشی به بررسی انکپسولاسیون روغن ماهی پرداختند. در این پژوهش از بتاسیکلودکسترین و پلیکاپرولاکتون به‌عنوان ماده دیواره استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که غلظت هسته تأثیر قابل توجهی در سایز ذرات داشت به طوری که با افزایش غلظت هسته، سایز میکروکپسول‌ها افزایش یافت. جعفرپور و همکاران (2016) بهینه‌سازی نانو ریزپوشانی اسیدهای چرب امگا-3 با استفاده از

پاششی را با ترکیب دیواره صمغ عربی و مالتودکسترین مورد بررسی قرار دادند و شاهد میکروکپسول‌هایی با ساختار کروی با سطح نرم با حداقل ترک بودند. از دلایل تفاوت در شکل میکروکپسول‌ها در کارهای مشابه، شاید به دلیل تفاوت در روش کپسوله کردن در تمامی این روش‌ها باشد، که روش خشک کردن انجامادی در مقایسه با خشک کردن پاششی باعث ایجاد اشکال نامنظم و بدون شکل خاصی می‌گردد ولی در خشک کردن پاششی اشکال کروی شکل می‌گیرد (فنگ و باهاندی، 2010). افخمی و همکاران (2017) بر این باورند که دلیل اختلاف در شکل‌های به وجود آمده در کارهای مشابه، اختلاف در فرمول کپسول‌ها بوده که باعث ایجاد اختلاف در ویسکوزیته و غلظت محلول و در نتیجه اختلاف در شکل میکروکپسول‌ها می‌شود.



بهینه دو

بهینه یک

شکل 1- تصاویر میکروسکوپ نوری (بالا) و میکروسکوپ الکترونی (پایین) برای نمونه بهینه یک و دو

BHA از خود نشان دادند همچنین میان Opt1 و Opt2 با BHA اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بنابراین پس از اتمام دوره نگهداری دو تیمار سلنیت سدیم کپسوله شده 1 و 2 خواص آنتی‌اکسیدانی بهتر از تیمار حاوی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول داشته‌اند.

در طی پژوهشی عصاره متانولی کیک کنگد در غلظت‌های ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ ppm و BHT و TBHQ در غلظت 200 ppm را به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان افزوده و در طی 15 روز در دمای 60 درجه سلسیوس، عدد پراکسید آن را مورد بررسی قرار دادند (سوجا و همکاران، 2004). نتایج نشان داد که اثر آنتی‌اکسیدانی تمام غلظت‌های عصاره بهتر از BHT عمل کرد ولی TBHQ تاثیر بهتری از خود نشان داد با مطالعه بر اثر ترکیبات فنولیک موجود در مواد طبیعی مختلف، اثر قابل توجه این مواد را بر ممانعت از اکسیداسیون روغن و کاهش عدد پراکسید در طول مدت انبارداری، نسبت به نمونه شاهد گزارش کرده‌اند

(1393) ریزپوشانی روغن سبوس برنج با استفاده از صمغ عربی و کنسانتره پروتئینی آب پنیر به‌عنوان مواد دیواره به دو روش خشک کردن پاششی و انجامادی مورد بررسی قرار دادند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از ریزکپسول‌های تهیه شده با دو روش خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجامادی نشان می‌دهند که با خشک‌کن پاششی پودرهایی با ساختار کروی به دست می‌آید در حالی که پودرهایی حاصل از خشک‌کن انجامادی ساختاری شیشه‌ای شکل و نامنظم دارند. فراسکارلی و همکاران (2012) ریزپوشانی روغن قهوه به روش خشک‌کن پاششی توسط صمغ عربی را مورد بررسی قرار دادند و شاهد ریزکپسول‌هایی با ساختار کروی با سطح نرم را بودند. حسین‌زاده و همکاران (2016) انکپسولاسیون روغن نعناع به روش خشک‌کن

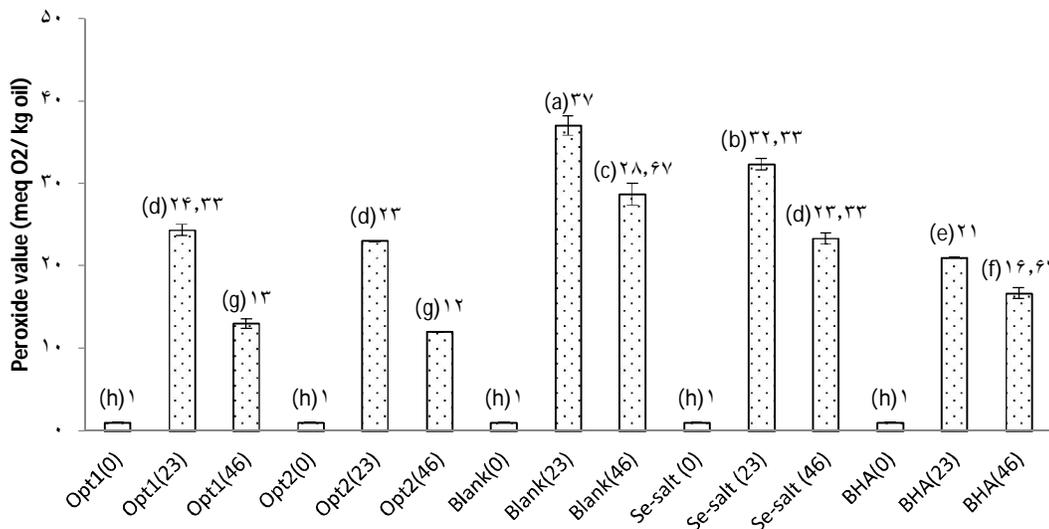
اثر متقابل تیمار در زمان بر ویژگی‌های کیفی روغن سویا

عدد پراکسید

تغییرات عدد پراکسید روغن سویا در تمامی تیمارها از روز صفر تا 23 روند افزایشی و از روز 23 تا 46 روند کاهشی در پی داشت (شکل 2). کمترین میزان عدد پراکسید در تمامی تیمارها مختص روز صفر بود که میان تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بالاترین میزان عدد پراکسید مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و پس از آن تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 23 بود که دو تیمار مذکور با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. افزایش در مقدار پراکسید را می‌توان به تشکیل هیدروپراکسیدها یعنی محصولات اولیه تشکیل اکسیداسیون نسبت داد. همچنین کمترین میزان عدد پراکسید در روز 46 مربوط به تیمارهای Opt1، Opt2، BHA در روز 46 بود که دو تیمار Opt1 و Opt2 اختلاف معنی‌دار نداشتند و اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر نسبت به تیمار

عدد پراکسید، آنیزیدین و توتوکس در روغن زیتون پرداخته شد. آن‌ها دریافتند خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره رازیانه بهترین تاثیر را داشته و سبب تأخیر در تشکیل هیدروپراکسیدها و کاهش عدد پراکسید می‌گردد (چانگ و همکاران، 2018).

(سلطانا و همکاران، 2007؛ لافکا و همکاران، 2007). خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره رازیانه (150 ppm) و مقایسه آن با BHA (75 ppm)، (75 ppm) BHT و نسبت 1:1 BHA و BHT با اندازه‌گیری



شکل 2- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان عدد پراکسید روغن سویا

تیمار Opt₁: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)
 تیمار Opt₂: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)
 Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان
 تیمار Se-salt (Na₂SeO₃): نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان
 تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

و کوهساری (1393) در طی پژوهشی خواص آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ سبز و سیاه شده پرتقال را بر اثر افزودن به روغن سویا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اسیدیته تمامی تیمارها در مدت نگهداری افزایش می‌یابند و عصاره‌ها توانایی جلوگیری از افزایش اسیدیته را دارند و باعث می‌شوند که اسیدیته با سرعت کمتری بالا رود.

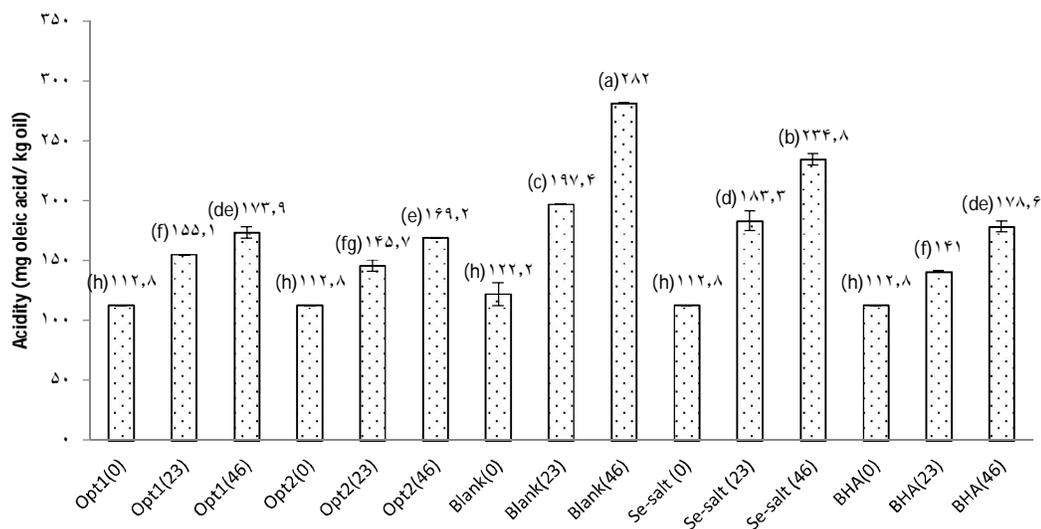
آزمون تیوباربی‌توریک اسید

نتایج شکل 4 نشان داد که افزایش مداومی در میزان اندیس TBA روغن سویا با افزایش دوره نگهداری در شرایط اکسیداسیون برای همه تیمارها مشاهده شد، به طوری که در روزهای پایانی دوره نگهداری با سرعت بیشتری انجام گرفت و مقدار زیادی از پراکسیدهای تشکیل شده تجزیه و به مالون آلدئید تبدیل شدند. کمترین میزان اندیس TBA مربوط به تیمارهای Opt₁ و Opt₂، نمک سلنیت سدیم و BHA

اسیدیته

نتایج شکل 3 نشان داد که تغییرات اسیدیته روغن سویا در تمامی تیمارها در طی مدت نگهداری روندی افزایشی داشت. کمترین میزان اسیدیته در تمامی تیمارها مربوط به روز صفر بود که میان تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد ($P > 0.05$). بالاترین میزان اسیدیته مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و پس از آن تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 46 بود که میان دو تیمار مذکور اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P < 0.05$). کمترین مقادیر مربوط به اسیدیته در روز 46 مربوط به تیمارهای Opt₁، Opt₂ و BHA که میان تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. تیمار Opt₁ از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی به خوبی توانست با BHA رقابت کند و حتی کمی بهتر عمل کرد ولی تیمار Opt₂ اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر از خود نشان داد و در حفظ خصوصیات کیفی روغن نسبت به تیمارهای مذکور موثرتر بود. فدوی

در روز صفر بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند.



شکل 3- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان اسیدیته روغن سویا

تیمار Opt₁: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt₂: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na₂SeO₃): نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

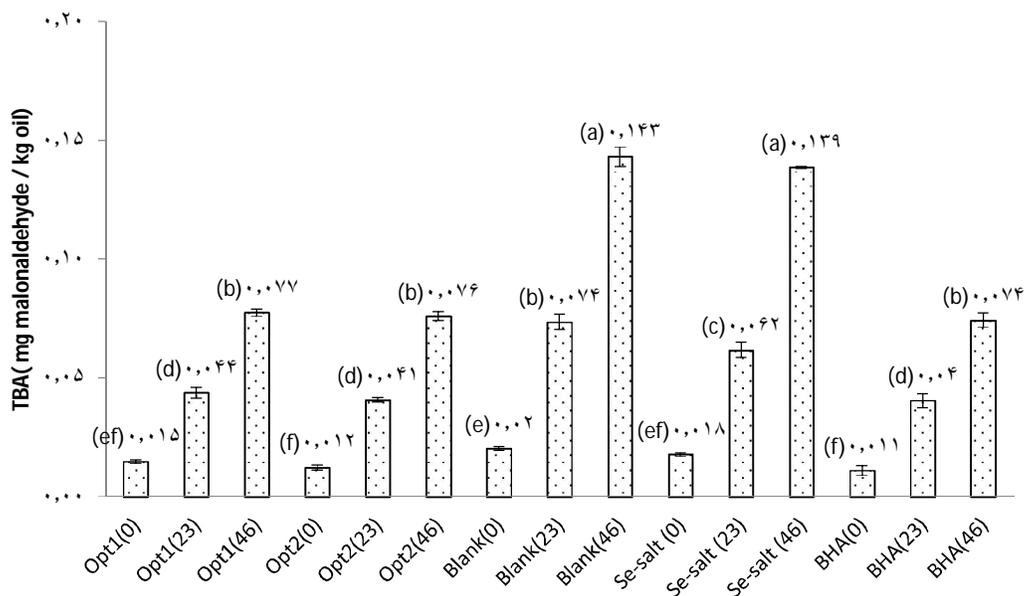
تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

هیدروکسی آنیزول در غلظت 0/02 درصد بود؛ از این رو می‌تواند به‌عنوان افزودنی در مواد غذایی استفاده شود.

آزمون آنیزیدین

نتایج شکل 5 نشان داد که تغییرات عدد آنیزیدین روغن سویا در تمامی تیمارها در طی مدت نگهداری روندی افزایشی داشتند که این افزایش نشان دهنده گسترش واکنش اکسایش خودبه‌خودی و همچنین افزایش محصولات ثانویه حاصل از تجزیه هیدروپراکسیدها و کربونیل‌ها با گذشت زمان می‌باشد. کمترین میزان اندیس آنیزیدین مربوط به تیمارهای Opt1 و Opt2 و BHA در روز صفر بود که سه تیمار مذکور اختلاف معنی‌داری نداشتند. بالاترین میزان آنیزیدین مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 46 بود که تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین میزان اندیس آنیزیدین در روز 46 مربوط به تیمار Opt2 و BHA بود که میان دو تیمار مذکور اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و پس از این

بالاترین میزان TBA مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و پس از آن تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 46 بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین میزان TBA در روز 46 مربوط به تیمار Opt1 و Opt2 و BHA بود که میان تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. بنابراین می‌توان گفت تیمارهای Opt1 و Opt2 از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی به‌خوبی توانستند با تیمار BHA رقابت کند و می‌توان از تیمارهای مذکور به‌عنوان جایگزین BHA استفاده نمود. شهسواری و همکاران (2008) در تحقیقی به بررسی خاصیت آنتی-اکسیدانی و ترکیب شیمیایی اسانس آویشن شیرازی و زیره‌کوهی و جلوگیری از اکسیداسیون روغن سویا به مدت 32 روز، با کنترل عدد پراکسید و تیوباربتوریک اسید پرداختند. نتایج نشان داد که اسانس گیاهان دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالایی است که باعث کاهش فرآیند اکسیداسیون روغن سویای نگهداری شده در آن با دمای 60 درجه سانتی‌گراد شده است. اسانس زیره‌کوهی در غلظت 0/06 درصد و اسانس آویشن شیرازی در غلظت 1 درصد مشابه اثر بوتیل



شکل 4- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان تیوباریتوریک اسید روغن سویا

تیمار Opt₁: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt₂: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na₂SeO₃): نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

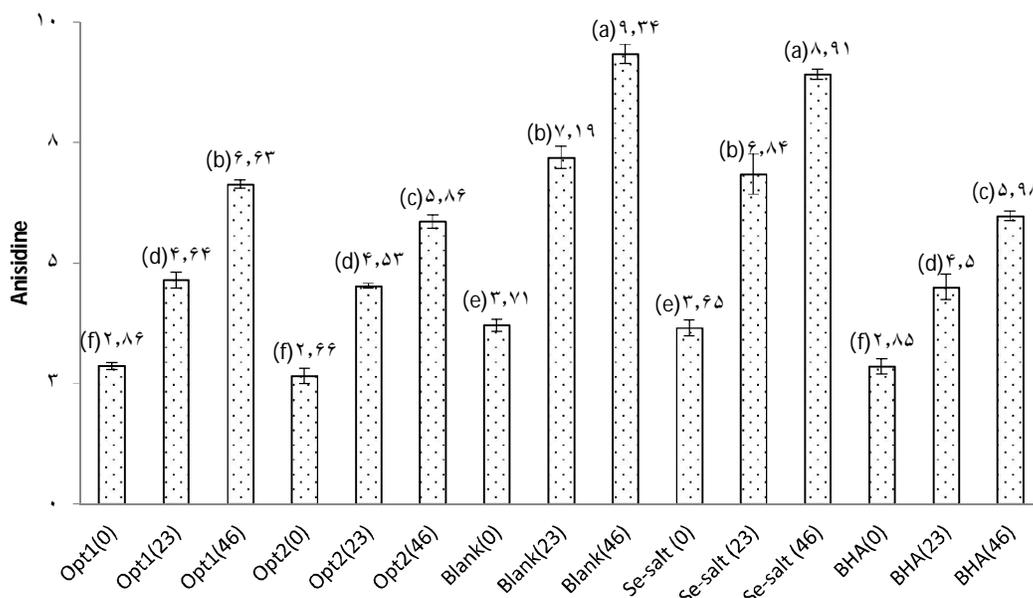
روند کاهشی را دارا بود. کمترین میزان عدد توتوکس در تمامی تیمارها مربوط به روز صفر بود که این تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P > 0.05$). بالاترین میزان عدد توتوکس مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان در روز 23 بود. کمترین میزان عدد توتوکس در روز 46، مربوط به Opt1 و Opt2 و BHA بود. Opt1 و Opt2 اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر نسبت به BHA از خود نشان دادند و در کاهش تولید محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیون و کاهش شدت اکسیداسیون موثرتر بودند و باعث حفظ کیفیت روغن سویا در برابر شرایط اکسیداسیون شده است. موجولو و همکاران (2015) در طی پژوهشی با اتانول از کنجاله زیتون عصاره‌گیری کرده و ترکیبات فنولی کل موجود در عصاره را تعیین کردند. سپس اثرات آنتی‌اکسیدانی عصاره کنجاله زیتون در غلظت‌های مختلف (۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ ppm) و همچنین آنتی-اکسیدان‌های شیمیایی بوتیل‌هیدروکسی‌تولون (BHT) و بوتیل-هیدروکسی‌آنیزول (BHA) با غلظت 75 ppm، بر پایداری اکسایشی

تیمار Opt2 در مقایسه با BHA اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر نشان داد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای تیمار مذکور باشد. اثر عصاره‌های متانولی چوب ذرت روی عدد آنیزیدین روغن ذرت تحت شرایط تشدید شده (21 دقیقه در ماکروویو) نشان داد که در نمونه کنترل تبدیل فرم کربونیل نسبت به بقیه نمونه‌ها بیشتر است. عصاره 1000 پی‌پی‌ام بهتر از بقیه عمل کرد و بعد BHT و عصاره 500 پی‌پی‌ام بهتر عمل کرد (Sultana, 2007). عدد آنیزیدین در طول 72 ساعت نگهداری نمونه‌های روغن حاوی عصاره متانولی کیک کنجد در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌دار افزایش یافت و این افزایش بعد از 32 ساعت شتاب بیشتری داشت (Mohdaly et al., 2011).

آزمون توتوکس

نتایج شکل 6 نشان داد که تغییرات عدد توتوکس روغن سویا در تمامی تیمارها از روز صفر تا 23 روند افزایشی داشت و از روز 23 تا 46

روغن سویا در طول دوره نگهداری به مدت 4 هفته از طریق سنجش اندیس پراکسید، آنیزیدین، توتوکس و زمان مقاومت به اکسایش بررسی کردند.



شکل 5- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان آنیزیدین روغن سویا

تیمار Opt₁: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی گرم در 20 میلی لیتر محلول اسپری شونده (390 پی پی ام کپسول معادل 8/6 پی پی ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی پی ام سلنیوم در روغن)
 تیمار Opt₂: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی گرم سلنیت سدیم در 20 میلی لیتر محلول اسپری شونده (480 پی پی ام کپسول معادل 8/6 پی پی ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی پی ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی اکسیدان)
 Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی اکسیدان
 تیمار Se-salt (Na₂SeO₃): نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی پی ام یا 3/92 پی پی ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی اکسیدان
 تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی پی ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی اکسیدان

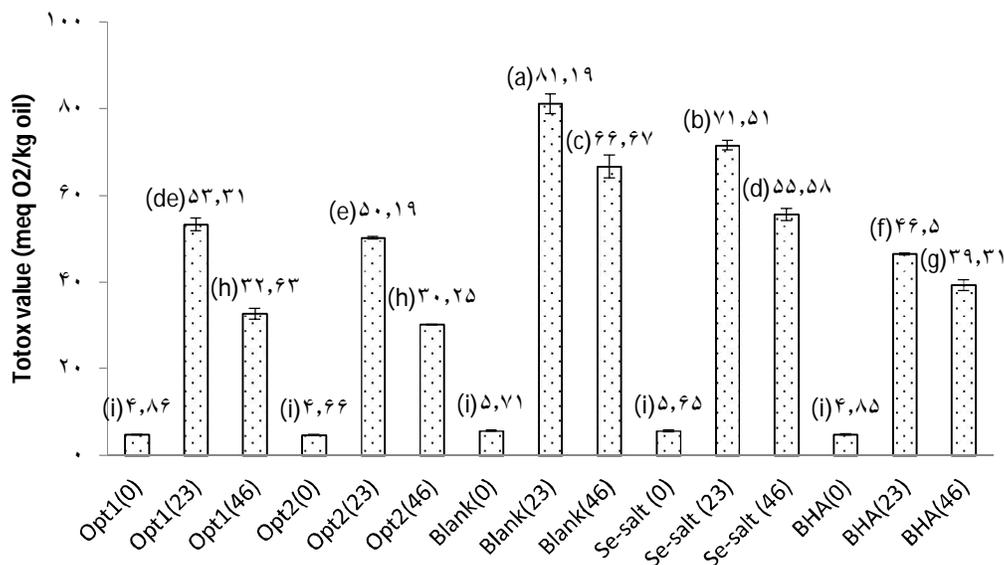
کمترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی مربوط به تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 23 بود. بالاترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی مربوط به تیمارهای Opt1 و Opt2 در روز 46 بود که اختلاف معنی دار نداشتند و پس از آن BHA بود که اختلاف معنی دار با دو تیمار مذکور داشت. تیمارهای Opt1 و Opt2 از نظر حفظ اثر آنتی اکسیدانی قوی تر از BHA عمل کردند در نتیجه دو تیمار مذکور می توانند به عنوان جایگزین مناسب برای BHA باشند.

اثر سلنیوم بر افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی برگ های چای برداشت شده در اوایل بهار نشان داد که پاشیدن سلنیوم بر روی برگ چای، باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی چای شد (Xu et al., 2003). به منظور تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره برگ چای غنی شده با سلنیوم و مقایسه آن با BHT، آزمون DPPH انجام شد.

نتایج حاکی از آن بود که در بین غلظت های تحت بررسی عصاره کنجاله زیتون، غلظت 150 ppm دارای بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی بوده و موثرترین سطح غلظتی عصاره بر پایداری اکسایشی روغن سویا تعیین گردید. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت بهینه 150 ppm عصاره، نسبت به آنتی اکسیدان های بوتیل هیدروکسی تولوئن (BHT) و بوتیل هیدروکسی آنیزول (BHA) فعالیت آنتی اکسیدانی بیشتری را دارا می باشد.

فعالیت آنتی اکسیدانی

نتایج شکل 7 نشان داد که در روز صفر هیچ کدام از تیمارها فعالیت آنتی اکسیدانی در روغن سویا نداشتند و با گذشت زمان اثر آنتی اکسیدانی خود را نشان دادند و فعالیت آنتی اکسیدانی روند افزایشی یافت. فعالیت آنتی اکسیدانی تیمار شاهد فاقد آنتی اکسیدان در تمام روزها صفر بود.



شکل 6- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان عدد توتوکس روغن سویا

تیمار Opt₁: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی گرم در 20 میلی لیتر محلول اسپری شونده (390 پی پی ام کپسول معادل 8/6 پی پی ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی پی ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt₂: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی گرم سلنیت سدیم در 20 میلی لیتر محلول اسپری شونده (480 پی پی ام کپسول معادل 8/6 پی پی ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی پی ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na₂SeO₃): نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی پی ام یا 3/92 پی پی ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی پی ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

2% سلنیت سدیم 109 میلی گرم در 20 میلی لیتر محلول) کارایی بالاتر و سایز کوچک‌تر نسبت به Opt1 (صمغ عربی 27%، صمغ فارسی 3% سلنیت سدیم 135 میلی گرم در 20 میلی لیتر محلول) از خود نشان داد. استفاده از تکنیک کپسولاسیون با هدف محافظت از آنتی‌اکسیدان انجام گرفت و منجر به افزایش توان ضداکسایشی آن شد و همچنین با رهايش کنترل شده سلنیت سدیم از کپسول به درون روغن، باعث افزایش پایداری اکسیداتیو روغن طی مدت زمان نگهداری شد. در حضور آنتی‌اکسیدان‌های سلنیت سدیم کپسوله شده و بوتیل‌هیدروکسی آنیزول در روغن سویا، عدد پراکسید، اسیدیته، تیوباریتوریک اسید، آنیزیدین و توتوکس کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت. از نظر خواص آنتی‌اکسیدانی ترتیب اهمیت تیمارهای این تحقیق عبارت است از:

سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه 2) < سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه 1) ≤ آنتی‌اکسیدان بوتیل‌هیدروکسی آنیزول < نمک سلنیت سدیم < شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان

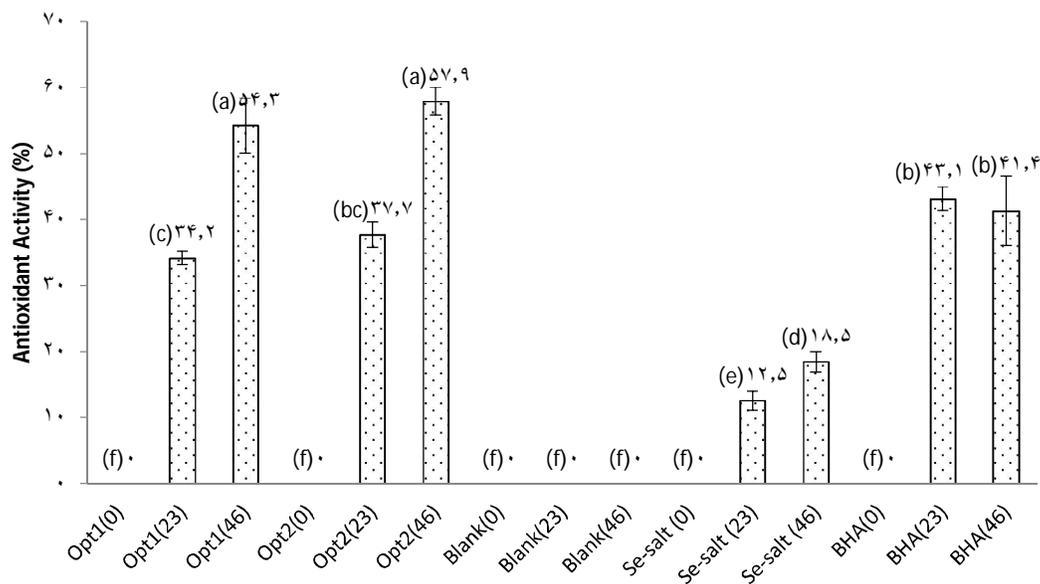
لذا در مجموع تیمارهای بهینه سلنیت سدیم کپسوله شده 1 و 2 می‌توانند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیرسنتزی جایگزین آنتی‌اکسیدان

بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب مربوط به عصاره برگ چای غنی شده با سلنات، عصاره برگ چای غنی شده با سلنیت، BHT و چای معمولی بود. موجولو و همکاران (2015) در طی پژوهشی با اتانول از کنجاله زیتون عصاره‌گیری کرده و ترکیبات فنولی کل موجود در عصاره را تعیین کردند. سپس اثرات آنتی‌اکسیدانی عصاره کنجاله زیتون در غلظت‌های مختلف و BHT و BHA با غلظت 75 ppm، بر پایداری اکسایشی روغن سویا را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت بهینه 150 ppm عصاره دارای بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوده و نسبت به BHT و BHA فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری را دارا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کارایی کپسولاسیون تحت تاثیر غلظت ماده دیواره و هسته قرار گرفت. به این صورت که هرچه غلظت صمغ عربی بیشتر، غلظت صمغ فارسی کمتر و غلظت سلنیت سدیم کمتر شد راندمان افزایش و سایز میکروکپسول‌ها کاهش یافت. Opt2 (صمغ عربی 28%، صمغ فارسی

سنتری بوتیل هیدروکسی آنیزول در روغن سویا گردند.



شکل 7- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن سویا

تیمار Opt₁: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt₂: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na₂SeO₃): نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتری بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

منابع

- آهنگران ف، حیاتی م، نوارچیان ا، اسماعیل پور ک. 1394. مروری بر روش های کپسوله کردن مواد و بررسی ریزکپسول های با دیواره پلی متیل متاکریلات. نشریه مهندسی شیمی ایران. سال پانزدهم، شماره 86.
- استاندارد ملی ایران، 1377. 4179، روغن ها و چربی های خوراکی، اندازه گیری عدد پراکسید.
- جعفرپورع، اصفهانی ر، جعفری م. 1396. بررسی نانو ریزپوشانی اسید چرب امگا 3 به وسیله ژلاتین ماهی و صمغ عربی با استفاده از روش کوسرواسیون. مجله علمی شبلیات ایران، سال 25، شماره 1.
- حسین زاده س، حداد خداپرست م، بستان آ، محبی م. 1395. ریزپوشانی روغن نعناع (*Menthaspicata*) به روش خشک کردن پاششی. نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران. جلد 12، شماره 4، ص 499-511.
- رضوی زاده بی بی م، پورمیرزا ع الف، عزیزی س ن. 1393. مقایسه ویژگی های ریزکپسول های روغن سبوس برنج تهیه شده با خشک کن پاششی و خشک کن انجمادی. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. سال 3، شماره 2، صفحات 97-114.
- شهسواری، ن، سحری، م.ع. و برزگر، م. 1387. بررسی اثر آنتی‌اکسیدانی اسانس های آویشن شیرازی و زیره کوهی در روغن سویا، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- فدوی، ا. و کوهساری، ه. 1394. اثرات ضداکسایدگی و ضد میکروبی عصاره برگ درخت پرتقال کشت شده در ایران و بررسی پایداری اکسیداسیون روغن سویا غنی سازی شده با آن، فصل نامه فناوری های نوین غذایی، 85-7، 96.
- فرحناکی ع، مصباحی غ. 1387. خصوصیات و کاربردهای هیدروکلوتیدها در مواد غذایی و دارویی، تهران: نشر علم کشاورزی ایران، ص 24-1.

- قنبری، ر.، قوامی، م. و صفافر، ح.، 1385، بررسی امکان تولید آنتی‌اکسیدان طبیعی از گیاه مریم‌گلی و تاثیر آن در افزایش زمان ماندگاری روغن دنبه، کانولا، پنبه دانه، مجله علوم غذایی و تغذیه، سال سوم، شماره 3، ص 18-26.
- موجرلو، ز.، الهامی راد، ا.ح. و نجفی، ع.، 1394، مطالعه اثر آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ی اتان‌لی کنگاله زیتون بر پایداری اکسایشی روغن سویا در مقایسه با برخی آنتی‌اکسیدان‌های شیمیایی، نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی، 3، 15-23.
- میرنظامی ضیابری، س. ح.، 1388، فناوری روغن و پالایش آن، انتشارات علم کشاورزی ایران، صفحه 464.
- Afkhami R, Goli M, Keramat J. 2017. Functional orange juice enriched with encapsulated polyphenolic extract of lime waste and hesperidin. *International Journal of Food Science & Technology*.
- Akdeniz, B., Sumnu, G. & Sahin, S., 2017, The effect of maltodextrin and gum Arabic on onion skin phenolic compounds, *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1891-1896.
- Ali B H, Zaida A, Blunden G. 2009. Biological effects of gum arabic: a review of some recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 47:(1), 1-8.
- Carneiro H C F, Tonon RV, Grosso C R F, Hubinger M D. 2013. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combination of wall materials. *Journal of Food Engineering*, 115:(4), 443-451.
- Choi MJ, Ruktanochai U, Min SG, Chun JY, Soottitantawat A. 2010. Physical characteristics of fish oil encapsulated by β -cyclodextrin using an aggregation method or polycaprolactone using an emulsion-diffusion method. *Food chemistry*. 119, 1694-1703.
- Cilek B, Sahin S, Sumnu G, Luca A, Hasirci V. 2012. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace : effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio. *European Food Research and Technology*, 235, 587-596.
- Click B, Luca A, Hasirci V, Sahin S, Sumnu G. 2012. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace: effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio. *Eur Food Res Technol*. 235:587-596.
- Combs, G.F., 2000, Food system-based approaches to improving micronutrient nutrition: the case for selenium Biofactors, 12, 39-43.
- Chang, S., Bassiri, A. & Jalali, H., 2018, Evaluation of antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extract on oxidative stability of olive oil, *Journal of Chemical health risks*, 3, 2.
- Fang, Z. & Bhandari, B., 2010, Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 10, 510-523.
- Firestone, D., 1994, Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society, 4th ed., AOCS Press, Champaign, IL.
- Frascareli E, Silvaa V, Tonona R, Hubingera M. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 413-424
- Gabas A L, Telis VR N, Sobral P J A, Telis J R. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82(2): 246-252.
- Glicksman M. 1969. Gim technology in the food industry. Academic Press, New York, chapter 4, 94-129.
- Gupta, C., Chawla, P., Arora, S., Tomar, S.K. & Singh, A.K., 2015, Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent evaporation method—Milk fortification, *Food Hydrocolloids*, 43, 622-628.
- Halliwell, B., Aeschbach, R., Loliger, J. & Arouma, O.I., 1995, The characterization of antioxidants, *Food Chemistry and Toxicology*, 33, 7, 601-617.
- Kanakdande D, Bhosale R, Singhal RS. 2007. Stability of cumine oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate Polymers*, 67(4): 536-541.
- Kohrle, J., Jakob, F., Contempre, B. & Dumont, J.E., 2005, Selenium, the thyroid, and the endocrine system, *Endocr Review*, 26, 7, 944-84.
- Krishnan S, Bhosale R, Singhal R S. 2005. Microencapsulation of cardamomoleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*, 61(1): 95-102.
- Lafka, T.I., Sinanoglou, V. & Lazos, E.S., 2007, The extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from winery wastes, *Food Chemistry*, 104, 3, 1206-1214.
- Lin, C.C., Wu, S.J., Chang, C.H. & Ng, L.T., 2003. Antioxidant activity of Cinnamomum cassia, *Phytotherapy Research*, 17, 7, 726-730.
- Lindenschmidt, R.C., Trika, A.F., Guard, M.E. & Witschi, H.P., 1986. The effect dietary butylated hydroxyl toluene on liver and colon tumor development in mice, *Toxicology*, 38, 2, 151-160.
- Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S. 2006. Review Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1-21.
- McNamee BF, O'Riordan E D, O'Sullivan M. 1998. Emulsification and Microencapsulation Properties of Gum Arabic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4551-4555.

- Mohdaly, A.A., Smetanska, I., Ramadan, M.F., Sarhan, M.A. & Mahmoud, A., 2011. Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils, *Industrial Crops and Products*, 34, 1, 952-959.
- Mustacich, D. & Powis, G., 2000. Thioredoxin reductase, *Biochemistry Journal*, 346, 1-8.
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S. & Bugarski, B., 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications, *Food Science*, 1, 1806-1815
- Rahman, Z., Habib, F. & Shah, W., 2004, Utilization of potato peels as a natural antioxidant in soybean oil, *Journal of Food Chemistry*, 85, 215-220.
- Rayman, M. P., 2000, The importance of selenium to human health, *The Lancet*, 356, 9225, 233-241.
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J.A. & Saura-Calixto, F., 1999, Free radical scavenging capacity and inhibition of lipid oxidation of wines, grape juices and related polyphenolic constituents, *Food Research International*, 32, 6, 407-412.
- Rightto A M, Netto F M. 2005. Effect of encapsulating materials on watersorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 337-346.
- Sarkar S, Gupta S, Variyar S P, Sharma A, Singhal R S. 2013. Hydrophobic derivatives of guar gum hydrolyzate and gum arabic as matrices for microencapsulation of mint oil. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 177-182.
- Shahidi, F. & Zhong, Y., 2005, Lipid Oxidation: Measurement Methods, Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 6th Ed., Six Volume Set, Memorial University of Newfoundland, Canada
- Shahidi, F. & Ying, Z., 2005, Antioxidants: regulatory status, Bailey's industrial oil and fat products.
- Simas Tosin FF, Barraza RR, Petkowicz CLO, Silveira JLM, Sasaki GL, Santos EMR, Gorin PAJ, Iacomini M. 2010. Rheological and structural characteristics of peach tree gum exudates. *Food Hydrocolloid*, 24: 486-493.
- Sultana, B., Anwar, F. & Przybylski, R., 2007, Antioxidant potential of corncob extracts for stabilization of corn oil subjected to microwave heating, *Food chemistry*, 104, 3, 997-1005.
- Suja, K.P., Abraham, J.T., Thamizh, S.N., Jayalekshmy, A. & Arumughan, C., 2004, Antioxidant efficacy of sesame cake extract in vegetable oil protection, *Food Chemistry*, 84, 3, 393-400.
- Tombs M P, Harding S E. 1998. An introduction to polysaccharide. In *Biotechnology* (pp. 88e89). Gunpowder Square, London: Taylor and Francis Ltd.
- Tompkins, C. & Perkins, E.G., 1999, The evaluation of frying oils with the p-anisidine value, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 76, 945-947.
- Wanasundara, P.K.J.P.D. & Shahidi, F., 2005, Antioxidants: science, technology, and applications. Bailey's industrial oil and fat products.
- Xu, J., Yang, F., Chen, L., Hu, Y. & Hu, Q., 2003, Effect of selenium on increasing the antioxidant activity of tea leaves harvested during the early spring tea producing season, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 4, 1081-1084.
- Chan, K.M., De Cker, E.A. & Means, W.J., 1993, Extraction and activity of carnosine, a naturally occurring antioxidant in beef muscle, *Journal of Food Science*, 58, 1, 1-4.
- Namiki, M., 1990, Antioxidants/ antimutagens in food, *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 29, 4, 273-300.
- Vaidya S, Bhosale R, Singhal R S. 2006. Microencapsulation of cinnamonooleoresin by spray drying using different wall materials. *Drying Technology: An International Journal*, 24(8): 983-992.
- Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L. & Oomah, B.D., 1998, Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products, *Journal of agricultural and food chemistry*, 46, 10, 4113-4117.
- Wardhanabhuti B, Ikeda S. 2006. Isolation and characterization of hydrocolloids from monoi (*Cissampelos pareira*) leaves. *Food Hydrocolloids*, 20, 885-891.
- Whistler R L. 1993. Exudate gums. In R. L., Whistler and J. N., Bemiller (Eds.), *Industrial gums, polysaccharides and their derivatives* (3rd ed.), Academic Press, Inc., London, chapter 12, 309-339.
- Yang D Z, Hrymak A N, Kamal M R. 2011. "Crystal morphology of hydrogenated castor oil in the crystallization of oil-in-water emulsions: Part II. Effect of Shear", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 50, pp. 11594-11600.
- Zilberboim R, Kopelman IJ, Talmon Y. 1986. Microencapsulation by dehydrating liquid: retention of paprika oleoresin and aromatic esters. *Journal of Food science*, 51(5): 1301-1306.

Study on the antioxidant effect of microencapsulated sodium selenite by solvent evaporation during one-year soybean oil storage

F. Jalali-zand¹, M. Goli^{*2}

Received: 2019.09.03

Accepted: 2019.10.26

Introduction: Microencapsulation is represented as a technology of packaging solids, liquids, or gaseous materials in miniature sealed capsules that can release their contents at controlled speeds under specific conditions. The packaged materials can be pure materials or a mix, which are also called coated material, core material, actives, internal phase (Fang & Bhandari, 2010). Selenium is a micronutrient essential element for human health, which is toxic in high concentrations. Selenium is a component of selenoproteins that plays an enzymatic and structural roles in human biochemistry. Selenium is known as an antioxidant and catalyzer for active thyroid hormone production. The aim of this study was to optimize the microencapsulation of sodium selenite (100-900 mg per 20 mL final spray solution) using a combination of Arabic gum (25-29% per 20 mL final spray solution) and Persian gum (1-5% per 20 mL final spray solution) as capsule wall applying modified solvent evaporation method to produce microcapsules with the highest encapsulation efficiency (EE) and the smallest possible particle size using the response surface method (RSM) with central composite design ($\alpha = 2$ with 6 central points and 2 repetition in axial and factorial points).

Materials and Methods: In this research, production of encapsulated sodium selenite at different concentration (100, 300, 500, 700 and 900 mg/20 cc) with Arabic gum (25%, 26%, 27%, 28% and 29%) and Analogous Farsi gum (5%, 4%, 3%, 2% and 1%) as wall materials by solvent evaporation method was studied. The optimization of microcapsules based on the highest encapsulation efficiency and smallest microcapsules size was studied using RSM. Based on the mentioned parameters, 2 optimum conditions were chosen. The first one was a condition where the samples produced with 135 mg sodium selenite in 20 ml sprayed solution, 27% and 3% Arabic and Farsi gum, respectively. In this condition the encapsulation efficiency was 79.63% whereas the microcapsules size was 49.98 μm . The second condition was followed by producing samples with 109 mg sodium selenite in 20 ml sprayed solution, 28% and 2% Arabic and Farsi gum with result of 95.10% encapsulation efficiency and the size of 46.71 μm . Finally 390 ppm capsules of the first condition and 480 ppm capsules of second condition (equal to 8.6 ppm sodium selenite salt), synthesized BHA (200 ppm) and sodium selenite salt (8.6 ppm) were added to a free anti-oxidant soybean oil and were kept at 55°C at 0, 23 and 46 days which was equal with 20°C at 0, 180 and 360 days. In this condition, peroxide value, acidity, Thiobarbituric acid, Anisidine value, Totox value and anti-oxidant activity of free anti-oxidant soybean oil were evaluated using SPSS software.

Results & Discussion: The results achieved by RSM showed that sodium selenite concentration had reverse relation on encapsulation efficiency whereas there was direct relation with Arabic and Farsi gum concentration. Also the size of microcapsules with had direct relation on sodium selenite concentration whereas Arabic and Farsi gum concentration had reverse relation. The result of SPSS analyses showed that with presence of the encapsulated sodium selenite anti-oxidant and synthesized BHA anti-oxidant in soybean oil, peroxide value, acidity, Thiobarbituric acid, Anisidine value, Totox value decreased whereas anti-oxidant activity of soybean oil increased. Based on anti-oxidant characteristics in soybean oil, recommended treatments in this research are: condition 2 > condition 1 \geq BHA > sodium selenite salt > control sample without anti-oxidant. The results of this study recommend the incorporation of encapsulated sodium selenite (condition 1 and 2) for increasing the shelf life of soybean oil as an alternative to synthesized BHA.

Keywords: Microencapsulation, Arabic gum, Farsi gum, Sodium selenite, Antioxidant activity, Soybean oil

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

2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

(*Corresponding author: mgolifood@yahoo.com)

Contents

Evaluation of physicochemical characterization of hawthorn (<i>Crataegus pinnatifida</i>) during various storage conditions and modeling of changes using kinetic models	523
M. Zandi, A. Ganjloo, M. Bimakr	
Production of aerated chocolate and application of X-ray computed tomography and image processing in evaluating the bubbles features	539
M. Sarfarazi, M. Mohebbi, M. Saadatmand-Tarzjan, A. Mirshahi	
Physical and chemical properties of soybean oil bleached with bleaching earth containing increased amounts of aluminum and magnesium oxides	553
B. Khaligh, M. Gharachorloo, P. Ghasemi Afshar	
The effect of wheat flour substitution with soy protein derivatives on the increase in angiotensin converting enzyme inhibitory activity of dough bioactive peptides	568
B R. Bataghva, M. Mehraban Sangatash, A. Ehtiati	
Optimization of the extraction and modification of physicochemical properties of protein and fiber in ViciaFaba by ultrasound and enzymatic hydrolysis	580
M. Ouraji, M. Alimi, A. Motamedzadegan, Sh. Shokoohi	
Effect of Edible Coating Containing Carboxymethyl Cellulose and Sodium Metabisulfite on the Shelf Life of the Button Mushroom	605
M. Rad, H. Ghafari, Z. Gholami	
Evaluation of quality of gluten-free cake prepared from heat-treated millet seeds	618
M. Aalami, B. Fathi	
Effect of Immersion Ohmic Heating on Thawing Rate and Properties of Frozen Tuna Fish	628
M.Keshani, N. Zamindar, R. Hajian	
Evaluation the role of breading particle size and soy protein isolate on physicochemical properties of chicken nugget	641
M. S. Sotoudeh, N. Soltanizadeh	
Mentha pulegium essential oil: chemical composition, total phenolic and its cytotoxicity on cell line HT29	652
H. Tanavar, H. Barzegar, B. Alizadeh Behbahani, M. A. Mehrnia	
Development of predictive model to determine Quince fruit firmness using genetic programming and Neural Network during storage	666
S.Naziri, S. Abdanan Mehdizadeh, M. Heydari	
Study on the antioxidant effect of microencapsulated sodium selenite by solvent evaporation during one-year soybean oil storages	685
F. Jalali-zand, M. Goli	

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 16

No. 5

2021

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Executive Manager: Shahnoushi, N.

Editor-in-Chief: Tabatabaei yazdi, F

Editorial Board:

Mortazavi, Seyed A.	Prof. in Food Microbiology and
Shahidi, F.	Prof. in Food Microbiology
Habibi najafi, M.	Prof. in Food Microbiology
Razavi, Seyed M. A.	Prof. in Food Engineering
Kashaninejad, M.	Prof. in Food Engineering
Khomeiri, M.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Farhoosh, R.	Prof. in Food Chemistry
Fazli Bazzaz, S.	Prof. in Food Microbiology
Koocheki, A.	Prof. in Food Technology
Mohebbi, M.	Prof. in Food Engineering
Ghanbarzadeh, B.	Prof. in Food Engineering
Alemzadeh, I.	Prof. in Food Biotechnology
Rajabzadeh, GH.	Assoc. Prof. in Nanotechnology
Heydarpour, M.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Ghoddusi, H. B.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Khosravidarani, K.	Prof. in Food Biotechnology
Abbaszadegan, M.	Prof. in Food Microbiology
Mohammadifar, M. A.	Assoc. Prof. in Food Engineering
Vosoughi, M.	Prof. in Food Biotechnology

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran.

Address: The Iranian Food Science & Technology Research Journal, Scientific Publication Office, Food Science and Technology Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

P.O.BOX: 91775- 1163

Phone: (98)511-8795618-20(321)

Fax: (98)511-8787430

E-Mail: ifstrj@um.ac.ir

Web Site: http://jm.um.ac.ir/index.php/food_tech/index

This journal is indexed in ISC, SID, and MAGIRAN.



Ferdowsi University
of Mashhad

Iranian Food Science and Technology Research Journal



Vol.16

No.5

2020

ISSN:1735-4161

Contents

Evaluation of physicochemical characterization of hawthorn (<i>Crataegus pinnatifida</i>) during various storage conditions and modeling of changes using kinetic models	523
M. Zandi, A. Ganjloo, M. Bimakr	
Production of aerated chocolate and application of X-ray computed tomography and image processing in evaluating the bubbles features	539
M. Sarfarazi, M. Mohebbi, M. Saadatmand-Tarzjan, A. Mirshahi	
Physical and chemical properties of soybean oil bleached with bleaching earth containing increased amounts of aluminum and magnesium oxides.....	553
B. Khaligh, M. Gharachorloo, P. Ghasemi Afshar	
The effect of wheat flour substitution with soy protein derivatives on the increase in angiotensin converting enzyme inhibitory activity of dough bioactive peptides	568
B R. Bataghva, M. Mehraban Sangatash, A. Ehtiati	
Optimization of the extraction and modification of physicochemical properties of protein and fiber in ViciaFaba by ultrasound and enzymatic hydrolysis.....	580
M. Ouraji, M. Alimi, A. Motamedzadegan, Sh. Shokoohi	
Effect of Edible Coating Containing Carboxymethyl Cellulose and Sodium Metabisulfite on the Shelf Life of the Button Mushroom.....	605
M. Rad, H. Ghafori, Z. Gholami	
Evaluation of quality of gluten-free cake prepared from heat-treated millet seeds.....	618
M. Aalami, B. Fathi	
Effect of Immersion Ohmic Heating on Thawing Rate and Properties of Frozen Tuna Fish	628
M.Keshani, N. Zamindar, R. Hajian	
Evaluation the role of breadding particle size and soy protein isolate on physicochemical properties of chicken nugget	641
M. S. Sotoudeh, N. Soltanizadeh	
Mentha pulegium essential oil: chemical composition, total phenolic and its cytotoxicity on cell line HT29.....	652
H. Tanavar, H. Barzegar, B. Alizadeh Behbahani, M. A. Mehrnia	
Development of predictive model to determine Quince fruit firmness using genetic programming and Neural Network during storage	666
S.Naziri, S. Abdanan Mehdizadeh, M. Heydari	
Study on the antioxidant effect of microencapsulated sodium selenite by solvent evaporation during one-year soybean oil storages	685
F. Jalali-zand, M. Goli	