



نشریه علمی پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران



شماره ۵ جلد ۱۵
سال ۱۳۹۸



نشریه علمی پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران

جلد ۱۵

شماره ۵

سال ۱۳۹۸

2019

No.5

Vol.15

Iranian Food Science and Technology Research Journal

شاپا: ۴۱۶۱-۱۷۳۵

شماره پیاپی ۵۸

عنوان مقالات

- استخراج ترکیبات فنولی میوه عناب با سیال فوق بحرانی کربن دی‌اکسید و بهینه‌سازی و اندازه‌گیری قدرت آنتی‌اکسیدانی آن ۵۲۹
فاطمه فرزانه مقدم - جواد سرگلزایی - شادی بلوریان
- ارزیابی و مقایسه خصوصیات ماست چکیده تولید شده به روش فرآیند بدون آب‌گیری (wheyless) با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی ۵۴۳
مصطفی کاشانی نژاد - مسعود نجف نجفی - محسن قدس روحانی - مرتضی کاشانی نژاد
- اندازه‌گیری ویژگی‌های هندسی و مورفولوژیکی مغز پسته با استفاده از ماشین بینایی ۵۶۵
سید محمد امام - امیرمحمد رضایی پور - ابوالفضل فورگی نژاد
- بررسی اهمیت حلال در تخلیص آبی اجسام روغنی از دانه کلزا ۵۷۷
فاطمه سعادت - سید هادی رضوی - هوشنگ علیزاده
- بهینه‌سازی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای پروتئین نخود کاجان (*Cajanus cajan*) طی هیدرولیز با آنزیم پپسین به کمک روش سطح پاسخ ۵۸۳
الهام رنجبر ندامانی - علیرضا صادقی ماهونک - محمد قربانی - شارلوت جاکوبسن - وحید خوری
- تاثیر فیلم و پوشش کیتوزان با بسته‌بندی تحت خلاء بر کیفیت فیله‌های ماهی شعری معمولی (*Lethrinus nebulosus*) نگهداری شده در دمای ۴°C ۵۹۷
مژگان کریمی رضاآباد - آی‌ناز خدانظری - سید مهدی حسینی
- اثر کاهش لاکتوز با کمک اولترافیلتراسیون بر میزان استالدهید و ویژگی‌های حسی دوغ ۶۱۳
رضا مبصر فر - سید علی مرتضوی
- توسعه، آزمون و ارزیابی خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم به منظور تعیین مشخصه‌های عملکردی بهینه آن در خشک کردن موز ۶۲۳
پرویز احمدی قشلاق - سیدصادق سیدلو هریس - حبیبه نعلبندی
- بهینه‌یابی فرمول و فرآیند دونات غنی‌شده با باگاس نیشکر و پلی‌ساکارید محلول سویا ۶۲۳
محبوبه داراپور - بهزاد ناصحی - حسن برزگر - حسین جوینده
- استخراج پکتین از پوست بادنجان با استفاده از مایکروویو و بررسی خصوصیات آن ۶۴۹
سارا کرم‌زاده - سارا انصاری

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران

با شماره پروانه 124/847 و درجه علمی - پژوهشی شماره 3/11/810 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
88/5/10

آذر - دی 1398

شماره 5

جلد 15

درجه علمی - پژوهشی این نشریه طی نامه 3/11/47673 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تا سال 1393 تمدید شده است.
90/4/14

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر ناصر شاهنوشی

دکتر ناصر شاهنوشی

استاد، اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

دکتر فریده طباطبایی

سر دبیر:

استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

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 محمداقبر 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 محمدمامین محمدی

استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف

دکتر منوچهر وثوقی

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی 91775 صندوق پستی 1163

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

تلفن: 8795618-20 داخلی 321 نمابر: 8787430

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 اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مندرجات

- 529 استخراج ترکیبات فنولی میوه عناب با سیال فوق بحرانی کربن دی اکسید و بهینه‌سازی و اندازه گیری قدرت آنتی‌اکسیدانی آن
فاطمه فرزانه مقدم - جواد سرگلزایی - شادی بلوریان
- 543 ارزیابی و مقایسه خصوصیات ماست چکیده تولید شده به روش فرآیند بدون آب گیری (wheyless) با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی و
رگرسیون حداقل مربعات جزئی
مصطفی کاشانی‌نژاد - مسعود نجف‌نجفی - محسن قدس روحانی - مرتضی کاشانی‌نژاد
- 565 اندازه‌گیری ویژگی‌های هندسی و مورفولوژیکی مغز پسته با استفاده از ماشین بینایی
سید محمد امام - امیرمحمد رضایی‌پور - ابوالفضل فورگی‌نژاد
- 577 بررسی اهمیت حلال در تخلیص آبی اجسام روغنی از دانه کلزا
فاطمه سعادت - سید هادی رضوی - هوشنگ علیزاده
- 583 بهینه‌سازی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای پروتئین نخود کاجان (*Cajanus cajan*) طی هیدرولیز با آنزیم پپسین به کمک
روش سطح پاسخ
الهام رنجبر ندامانی - علیرضا صادقی ماهونک - محمد قربانی - شارلوت جاکوبسن - وحید خوری
- 597 تاثیر فیلم و پوشش کیتوزان با بسته‌بندی تحت خلاء بر کیفیت فیله‌های ماهی شعری معمولی (*Lethrinus nebulosus*) نگهداری
شده در دمای 4°C
مژگان کریمی رضاآباد - آی‌ناز خدانظری - سید مهدی حسینی
- 613 اثر کاهش لاکتوز با کمک اولترافیلتراسیون بر میزان استالدهید و ویژگی‌های حسی دوغ
رضا مبصرفر - سید علی مرتضوی
- 623 توسعه، آزمون و ارزیابی خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم به‌منظور تعیین مشخصه‌های عملکردی بهینه آن در خشک کردن
موز
پرویز احمدی قشلاق - سیدصادق سیدلو هریس - حبیبه نعلبندی
- 635 بهینه‌یابی فرمول و فرآیند دونات غنی‌شده با باگاس نیشکر و پلی‌ساکارید محلول سویا
محبوبه دارا‌پور - بهزاد ناصحی - حسن برزگر - حسین جوینده
- 649 استخراج پکتین از پوست بادنجان با استفاده از مایکروویو و بررسی خصوصیات آن
سارا کرم‌زاده - سارا انصاری
- 667 اثر شستشوی گوشت چرخ‌شده ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) در حضور پراکسید هیدروژن بر ویژگی‌های
رئولوژیکی سوریمی تهیه شده
نرجس بادفر - سید علی جعفرپور - مهدی عبدالهی
- 679 اثر بخاردهی و خشک کردن به روش جت بر خوردی روی تغییرات رنگ برنج نیم‌پز
غلامرضا چگینی - ایمان حسن‌زاده

استخراج ترکیبات فنولی میوه عناب با سیال فوق بحرانی کربن دی‌اکسید و بهینه‌سازی و اندازه‌گیری قدرت آنتی‌اکسیدانی آن

فاطمه فرزانه مقدم¹ - جواد سرگلزایی^{2*} - شادی بلوریان³

تاریخ دریافت: 1397/05/15

تاریخ پذیرش: 1398/02/15

چکیده

آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی اصولاً ترکیبات فنولی، پلی‌فنولی و کاروتنوئیدی هستند که در میوه درخت عناب یافت می‌شود. هدف از این مطالعه بهینه‌سازی شرایط استخراج ترکیبات فنولیک از میوه عناب به دو روش حلالی و روش سیال فوق بحرانی کربن دی‌اکسید جهت یافتن نقاط بهینه استخراج و کاهش میزان حلال مصرفی و ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های استخراجی می‌باشد. در روش استخراج با حلال از طرح باکس بنکن با سه متغیر دما، زمان و نسبت حلال و در روش فوق بحرانی از طرح مرکب مرکزی با دو متغیر دما و فشار جهت بهینه‌سازی استفاده شده است. دما، زمان و نسبت حلال‌ها در روش استخراج با حلال برای رسیدن به حداکثر میزان فنول کل به ترتیب برابر 43/54°C، 3/46 hr و 44/92 درصد به دست آمد و نسبت حلال و دما بیشترین تاثیر را بر میزان فنول کل دارا بودند. همچنین دما و فشار در روش فوق بحرانی برای رسیدن به حداکثر میزان فنول کل برابر 34/19°C و 323 bar حاصل شد. میزان فنول کل استخراجی در نقطه بهینه در روش استخراج با حلال برابر 26/21 و در روش فوق بحرانی برابر 22/74 میلی‌گرم گالیک اسید به گرم عصاره خشک بود. در خصوص خاصیت آنتی‌اکسیدانی نیز IC50 در نقطه بهینه در روش استخراج با حلال برابر 581/6 و در روش فوق بحرانی برابر 532/8 بود. در هر دو روش میزان فنول کل رابطه مستقیم با فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشت و روش فوق بحرانی با وجود برخورداری از میزان فنول کمتر دارای قدرت آنتی‌اکسیدانی بیشتری بود.

واژه‌های کلیدی: میوه عناب، بهینه‌سازی، ترکیبات فنولی، روش فوق بحرانی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

اصطلاح آنتی‌اکسیدان به ترکیباتی گفته می‌شود که در حضور آن‌ها اکسید شدن یک ماده به تأخیر می‌افتد و یا از آن جلوگیری می‌شود که این امر باعث تثبیت کیفیت غذا می‌شود (Collins, 2005). آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی اغلب ترکیبات فنولی هستند که در همه بخش‌های یک گیاه وجود دارند. این ترکیبات متابولیت‌های ثانویه هستند که به دلیل دارا بودن خصوصیات اکسایش و کاهش می‌توانند گونه‌های فعال اکسیژن را با دادن اتم هیدروژن و تبدیل آن‌ها به ترکیبات غیررادیکالی پایدارتر مهار کنند. همچنین توانایی شلاته کردن فلزات را نیز دارند (Erasto et al., و Wijngaard et al., 2009). با توجه به اثرات مثبت آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی تحقیقات بسیاری در جهت استخراج، شناسایی و کاربرد آن‌ها از منابع گیاهی مختلف صورت گرفته است. میوه خوراکی عناب 4 یک عضو از خانواده *Rhamnaceae* 5 می‌باشد که در ایران با نام عناب شناخته می‌شود. گیاهان

خانواده عناب از گل‌سرخ‌سانان می‌باشند که همگی دیپلوئید بوده و دارای 24 کروموزوم هستند. درخت عناب از هزاران سال پیش در چین کشت می‌شده و به‌عنوان دارو، غذا و طعم‌دهنده غذایی استفاده می‌شود، این درخت همچنین در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری اروپا، استرالیا و آسیای جنوبی نیز توزیع شده است (Yan et al., و Su et al., 2005) و (Preeti et al., 2014, 2002).

ترکیبات فنولی به‌طور عمده دارای پتانسیل بالای آنتی‌اکسیدانی هستند و یک منبع طبیعی آنتی‌اکسیدان به حساب می‌آیند. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عناب ناشی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در آن نظیر فلاونوئیدهای، فنولیک‌های کل، آنتوسیانین و آسکوربیک اسید می‌باشد (Zhao et al., 2014, Zhang et al., 2010). پوسته، پالپ و دانه میوه عناب دارای گستره وسیعی از ترکیبات فنولیک می‌باشند و از گذشته‌های دور به‌عنوان دارو و عامل طعم‌دهنده استفاده می‌شود (Mahajan et al., 2009, Zhang et al., 2010). مطالعات بسیاری اثرات درمانی

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

DOI: 10.22067/iftstr.v15i5.74636

4 *Ziziphus Jujube*

5 *Rhamnaceae*

1 و 2 - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

3 - استادیار گروه پژوهشی افزودنی‌های غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی.

استخراج با سیال فوق بحرانی روشی دوستدار محیط زیست می‌باشد و استفاده از آلانده‌های آلی سمی را محدود می‌کند. همچنین حلال به‌طور کامل از محصول قابل بازیابی است. در این روش با توجه به نوع حلال، دما و فشار، انتخاب پذیری ترکیبات مورد استخراج از ماده گیاهی بهبود یافته و سرعت استخراج تسریع می‌یابد. عدم حضور حلال در محصول نیز باعث بالا رفتن کیفیت محصول نهایی می‌شود (Hauthal, 2001) و (Wóźniak et al., 2014) و (De Melo et al., 2014) و (Wóźniak et al., 2017). فاکتورهای مؤثر بر بازده استخراج سیال فوق بحرانی عبارتند از:

1- انتخاب صحیح حلال: با توجه به ماهیت حرارتی فنولیک‌ها، آب به دلیل نقطه‌جوش بالا حلال مناسبی نمی‌باشد. دی‌اکسید کربن به دلیل قیمت پایین، عدم سمیت و قابلیت اشتعال کم، در دسترس بودن، نداشتن خطرات زیست محیطی و دارا بودن شرایط بحرانی مطلوب (فشار 7/3 مگا پاسکال، دما 304 کلون) در استخراج ترکیبات فنولیک که ترکیباتی حساس به دما هستند، حلالی مناسب می‌باشد. از طرفی تخریب و تجزیه حرارتی فنول‌ها در روش فوق بحرانی به شدت کاهش می‌یابد زیرا استخراج در دمای کم و در غیاب اکسیژن و نور صورت می‌گیرد (Moraes et al., 2013) و (De Melo et al., 2014) و (Brglez Mojzer et al., 2016). کربن دی‌اکسید حلالی مناسب در استخراج ترکیبات غیرقطبی می‌باشد. در صورتی که فنول‌ها ترکیباتی نیمه قطبی می‌باشند به همین خاطر دارای درجه حلالیت پایینی در کربن دی‌اکسید می‌باشند. بنابراین استفاده از آن به‌تنهایی در فرآیند استخراج فنول‌ها نامطلوب می‌باشد (King, 2014). برای غلبه به این محدودیت‌ها از تعدیل‌کننده به‌منظور افزایش قطبیت کربن دی‌اکسید جهت بهبود کارایی در استخراج ترکیبات فنولی استفاده می‌شود (Ameer et al., 2017) و (Moraes et al., 2013).

2- اندازه ذرات جامد: نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که اندازه بهینه ذرات در محدوده مش 30-20 فراهم می‌کند که مساحت بالای ذرات را ایجاد کرده که منجر به افزایش انتقال جرم و بهبود بازده ایزوفلاون استخراجی می‌شود که ناشی از افزایش نفوذ حلال به درون ماتریکس گیاه می‌باشد (Zuo et al., 2008).

3- محتوای رطوبت ماده گیاهی: مواد جامد قبل از استخراج باید تقریباً خشک شوند زیرا آب موجود در گیاه به شکل یخ درآمده و سدی فیزیکی در برابر عبور سیال فوق بحرانی ایجاد می‌کند. از طرفی ممکن است آب با کربن دی‌اکسید در حل ترکیبات رقابت کند و در میزان انتقال جرم اثر گذارد (Zuo et al., 2008) و (Moraes et al., 2013).

4- زمان استخراج: زمان باید به‌گونه‌ای باشد تا سیال فرصت کافی جهت نفوذ به درون ماتریکس گیاه را داشته باشد. از طرفی زمان‌های طولانی از نظر اقتصادی به صرفه نمی‌باشد. همچنین فشار بالا می‌تواند

میوه عناب را مورد بررسی قرار داده‌اند و تأثیر عناب در جلوگیری و درمان بیماری‌هایی نظیر اختلالات گوارشی، ضعف، چاقی، مشکلات کبدی، دیابت، عفونت‌های پوستی، بی‌اشتهایی، کم‌خونی و آلرژی مؤثر گزارش کرده‌اند (Kim et al., 2015 and 2013) و (Gao et al., 2015 and 2013). در مطالعه‌ای که Verma, 2016 و (Li et al., 2012) در مطالعه‌ای که Wang و همکاران (2014) بر روی میوه عناب انجام دادند 22 ترکیب در عصاره اتانولی عناب شناسایی شد. Zhang و همکاران (2010) طی مطالعه‌ای که انجام دادند، فعالیت آنتی‌اکسیدانی عناب را ناشی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در آن نظیر فلاونوئیدها، فنولیک‌های کل، آنتوسیانیدین‌ها و آسکوربیک اسید می‌دانند. دانشمندان ایتالیایی تأثیر ترکیبات فنولی عصاره میوه عناب بر سلول‌های سرطانی سینه را بررسی کردند (Plastina et al., 2012). طی مطالعه انجام شده در کشور مصر تأثیر میوه عناب بر چاقی، چربی خون و عملکرد کبد مورد بررسی قرار گرفت (Mostafa et al., 2013). در مطالعه دیگری که روی ترکیبات فنولی میوه عناب انجام شد، تأثیر عناب در درمان تشنج بررسی شد. نتایج نشان داد که عناب دارای خواص محافظتی در برابر تشنج، استرس‌های اکسیداتیو و سایر اختلالات می‌باشد (Pahuja et al., 2011). با توجه به معایب روش‌های معمول استخراج، روش‌های مدرن نظیر سیال فوق بحرانی به دلیل مزایا و همچنین به دلیل محدودیت‌های قانونی موجود در صنایع غذایی و دارویی در استفاده از حلال‌های آلی در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند (غلامی آوارشک، 1393). بر اساس ترمودینامیک در حالت فوق بحرانی سیال فشار و دمای سیال بالاتر از فشار و دمای بحرانی آن است و بر اساس آن سیالات فوق بحرانی دارای خواص منحصر به فرد دانسیته، ویسکوزیته و حلالیت باشند (Ameer et al., 2017). دانسیته این سیالات بسیار شبیه به مایعات می‌باشد که همین عامل قدرت احیاء‌کنندگی این سیالات را به مایعات نزدیک می‌کند. به‌علاوه ویسکوزیته سیالات فوق بحرانی همانند گازها پایین می‌باشد که این امر قدرت جابجایی و نفوذ این سیالات را در مقایسه با مایعات افزایش می‌دهد (Valle et al., 2006) و (Brglez Mojzer et al., 2016). قدرت حلالیت یا به عبارتی قدرت انتخاب‌پذیری در حالت فوق بحرانی به دانسیته وابسته است و چگالی نیز در این حالت به شدت وابسته به دما و فشار می‌باشد. به‌طور کلی بسیاری از خواص سیالات فوق بحرانی با دانسیته در ارتباط می‌باشد بنابراین با استفاده از پارامترهای مناسب فرآیند می‌توان این خواص را بهبود بخشید (Wóźniak et al., 2017) و (Ameer et al., 2017, Brglez Mojzer et al., 2016, 2016). دما و فشار مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در فرآیند سیال فوق بحرانی 1 می‌باشند. فرآیند استخراج بیشتر سیالات فوق بحرانی در دمای پایین انجام می‌شود در نتیجه این فرآیند برای مواد حساس به دما مناسب می‌باشد.

عوامل نظیر نسبت حلال به حلال، دما و زمان که در فرآیند استخراج تأثیرگذار می‌باشند به‌عنوان متغیر مستقل در فرآیند بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. برای این منظور از روش Wang و همکاران (2014) با کمی اصلاحات استفاده شده است. مقدار 3 گرم پودر عناب در یک بشر با 120 میلی‌لیتر حلال اتانول - آب که با دمای مورد نظر هم‌دما شده است، مخلوط گردید. سپس هیتر مگنت (RH-Basic، ایکا، آلمان) در دمای مورد نظر تنظیم شد و با سرعت 250 دور بر دقیقه همزده شد. پس از اتمام زمان همزدن عصاره به مدت 10 دقیقه در سانتریفوژ (2-16p، سیگما، آلمان) با دور 4000g قرار گرفت و مخلوط نهایی با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. عصاره صاف شده با دستگاه تبخیر در خلاء چرخشی (RV8، ایکا، آلمان) در دمای 45 درجه سانتی‌گراد تغلیظ و حلال اتانول خارج شد. باقی‌مانده حلال به کمک دستگاه خشک‌کن انجمادی (alpha-1 2 LD plus، کریس، آلمان) در دمای 50- درجه سانتی‌گراد خارج و پودر حاصله تا زمان آنالیز در یخچال نگهداری گردید.

استخراج به روش فوق بحرانی

استخراج ترکیبات فنولیک پودر عناب توسط دستگاه استخراج با سیال فوق بحرانی که در آزمایشگاه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و ساخته شده، صورت گرفته است که طرحواره آن در شکل یک آمده است. حلال استخراج کربن دی‌اکسید بود که در درون سیلندر 45 کیلوگرمی (خوراکیان، جاده قوچان، ایران) قرار داشت. در هر مرحله از آزمایش حدود سه گرم از پودر عناب با مش 30 توسط ترازوی آزمایشگاهی دقیق (دقت 0/0001، کرنل، آلمان) توزین و داخل کاغذ صافی پیچیده و درون مخزنی که جهت استخراج تعبیه گردیده، قرار داده شد.

باعث صدمه به بافت گیاه شود (Cavalcanti و Ameer *et al.*, 2017) (et al., 2012).

در این تحقیق استخراج ترکیبات فنولی عصاره عناب به کمک روش سیال فوق بحرانی کربن دی‌اکسید انجام شده و بهینه‌سازی ترکیبات استخراج شده و اندازه‌گیری قدرت آنتی‌اکسیدانی میوه گیاه عناب نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

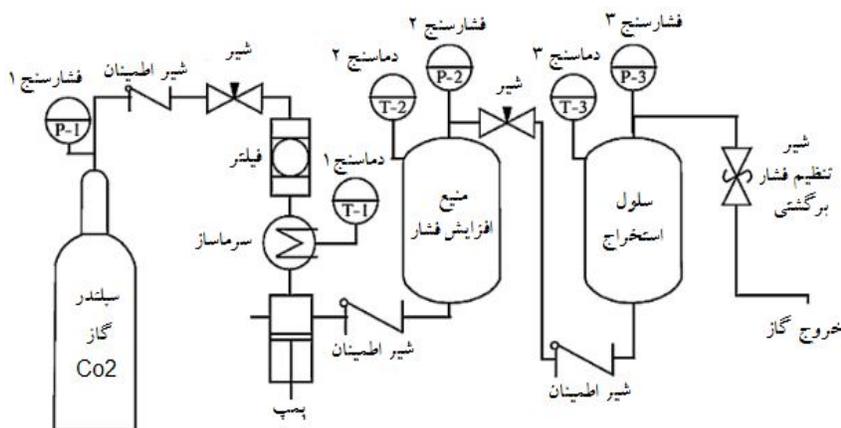
مواد و روش‌ها

میوه عناب در اواخر مرداد ماه از شهرستان بیرجند تهیه شد. مواد شیمیایی نظیر اتانول خالص، معرف فولین - سیکالتو، کربنات سدیم و مولکول رادیکال آزاد از شرکت‌های مرک آلمان و سیگما آلدریج آمریکا و شیشه آلات و وسایل آزمایشگاهی نظیر بالون حجمی، یخچال و فریزر، اسپاتول، ورتکس، بورت، پیپت، استوانه مدرج، کاغذ صافی، فالکون، بشر دماسنج، مش 30، قیف و ارلن خریداری شدند. میوه‌های خریداری شده تازه و قبل از خشک شدن از درخت جدا شده بودند. پس از جداسازی دانه عناب، میوه در دمای 40 درجه سانتی‌گراد در آن فن دار دیجیتال (حجم 5 لیتر، بایندر، آلمان) کاملاً خشک و به کمک آسیاب خانگی خرد شد. برای اینکه ذرات دارای اندازه یکنواخت باشند پودر حاصل با استفاده از مش 30 غربال و تا زمان استخراج در دمای 20- درجه سانتی‌گراد در یخچال معمولی نگهداری شد.

روش استخراج

استخراج به روش حلال

در این تحقیق ابتدا از روش انحلال در حلال اتانول - آب با نسبت‌های مختلف به‌منظور استخراج استفاده شده است. نسبت جامد به حلال ثابت و 1 به 40 (جرمی / حجمی) در نظر گرفته شد. سایر



شکل 1- طرحواره دستگاه استخراج به کمک سیال فوق بحرانی

معمولاً نتایج آزمون رادیکال آزاد بر پایه IC50 بیان می‌شود که بیانگر غلظت مؤثری از نمونه‌ها است که ظرفیت مهار 50% از رادیکال‌های آزاد را دارد و از طریق رگرسیون خطی به دست آمده از منحنی درصد ممانعت‌کنندگی و غلظت به دست می‌آید. برای ترسیم منحنی سه غلظت مختلف از عصاره تهیه شد و آزمون ارزیابی قدرت آنتی‌اکسیدانی روی آن‌ها انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

روش سطح پاسخ ماتریس آزمایش را بر مبنای تعداد متغیرها و حدود بیشینه و کمینه تعیین شده برای هر متغیر طراحی می‌کند. بدین ترتیب سطوح متغیر در هر آزمون و همچنین تعداد آزمون‌ها مشخص می‌شود. در طراحی آزمایش‌ها، چیدمان به گونه‌ای است که حتی در صورت عدم تکرار آزمون، می‌توان به نتایج آماری قابل اعتمادی دست یافت؛ بنابراین این روش سبب تسهیل رویکرد تحقیق، کاهش زمان و سایر هزینه‌های جانبی می‌شود. از طرفی توانایی ارزیابی برهم کنش پارامترها بر یکدیگر را نیز دارا می‌باشد (Gunst, 1996). متغیرهای فرآیند بر اساس آزمایش‌های اولیه انتخاب شدند. جدول آماری آنالیز متغیرها بر روی داده‌های تجربی با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7.0 انجام شد.

در این تحقیق به منظور به دست آوردن مدل ریاضی، در روش استخراج با حلال، طرح باکس بنکن، با سه متغیر و سه تکرار در نقطه مرکزی طرح، جهت یافتن اثر متغیرها شامل نسبت حلال اتانول - آب، دما و زمان بر پاسخ‌های مورد نظر شامل اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنولیک، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بازده استخراج مورد استفاده قرار گرفت که در جدول 1 آمده است.

جدول 1- متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آن‌ها در روش استفاده از حلال

متغیر مستقل			نماد ریاضی	سطوح متغیر
				-1 0 +1
زمان (ساعت)			B	1 3 5
نسبت اتانول - آب (حجمی - حجمی)			C	40 65 90
دما (درجه سانتی‌گراد)			A	30 50 70

اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنولیک، فعالیت آنتی‌اکسیدانی رادیکال آزاد و بازده استخراج مورد استفاده قرار گرفت. در این حالت نیز سطوح متغیر شامل دو سطح بودند که در جدول 2 آورده شده است.

جهت افزایش قطبیت دی‌اکسید کربن فوق بحرانی حدود 10 میلی‌لیتر حلال اتانول و 5 میلی‌لیتر آب مقطر به عنوان اصلاحگر به درون مخزن استخراج تزریق گردید تا دی‌اکسید کربن بتواند ترکیبات فنولیک را بهتر در خود حل کند.

اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنولیک به روش فولین - سیکالتو

ابتدا 200 µl از محلول عصاره با غلظت 10 mg/ml به همراه 7 ml آب مقطر و 500 µl معرف فولین - سیکالتو درون لوله آزمایش ریخته و بعد از گذشت 3-4 دقیقه یک میلی‌لیتر سدیم کربنات 20% به آن اضافه و حجم کل مخلوط با آب مقطر به 10 ml رسانده شد. در نهایت پس از 90 دقیقه جذب محلول در طول موج 760 nm در مقابل شاهد خوانده شد (Kozłowska et al., 2014).

ارزیابی قدرت آنتی‌اکسیدانی با رادیکال 1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH)

محلول 35 ppm رادیکال آزاد 1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl در اتانول تهیه شد. سپس به لوله‌های آزمایش حاوی 100 میکرولیتر از عصاره‌های استخراجی با سه غلظت مختلف 3/9 میلی‌لیتر از محلول رادیکال آزاد تهیه شده اضافه گردید و به مدت 30 دقیقه در دمای اتاق و تاریکی قرار داده شد تا تثبیت رنگ حاصل شود. سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذب در طول موج 515 نانومتر قرائت گردید و درصد به دام‌اندازی رادیکال آزاد طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$\left(\frac{A_B - A_S}{A_B} \right) \times 100 \quad (1)$$

در روش استخراج با سیال فوق بحرانی دی‌اکسید کربن طرح مرکب مرکزی با دو متغیر و دو تکرار در نقطه مرکزی طرح، جهت یافتن اثر متغیرها شامل دما و فشار بر پاسخ‌های مورد نظر شامل

جدول 2- متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها در روش فوق بحرانی

سطوح متغیر			نماد ریاضی	متغیر مستقل
-1	0	+1		
100	250	400	B	فشار (بار)
30	45	60	C	دما (درجه سانتی‌گراد)

نتایج و بحث

بهینه‌سازی استخراج ترکیبات فنولیک از میوه عناب به کمک حلال با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)

استخراج اولین مرحله برای دستیابی به ترکیبات گیاهی می‌باشد بنابراین روش و شرایط استخراج بسیار تعیین‌کننده است (Chen, 2017). در مطالعات بهینه‌سازی کلاسیک تنها به بررسی یک فاکتور می‌پرداختند و سایر فاکتورها ثابت نگه‌داشته می‌شد. از معایب این بهینه‌سازی می‌توان به زمان‌بر بودن آنالیز، تعداد زیاد مراحل آزمایش و هزینه بالا اشاره کرد. علاوه بر این برهم‌کنش پارامترها بر یکدیگر نیز

نادیده گرفته می‌شد. بهینه‌سازی با استفاده از روش پاسخ سطح 2 می‌تواند بر این مشکلات غلبه کند (Gunst, و Haaland, 1989 و 1996). در تحقیق حاضر از این روش برای بهینه‌سازی استخراج ترکیبات استفاده شده است.

به طوری که با داشتن پارامترها و محدوده‌های ذکر شده در جدول 1، تعداد 15 آزمایش توسط نرم‌افزار طراحی شد. فهرست آزمایش‌های طراحی شده و نقاط تعیین‌شده در هر آزمایش در جدول 3 نشان داده شده است. همچنین سه ستون آخر جدول 3، پاسخ‌های محاسبه شده هر آزمایش را پس از انجام نشان می‌دهد.

جدول 3- نتایج طرح آزمایشی مورد استفاده در بهینه‌سازی استخراج ترکیبات فنولیک از میوه عناب با روش حلال

آزمون	متغیرهای وابسته (پاسخ)		متغیرهای مستقل	
	TPC (mg/gr)	IC50 (mg/l)	دما (oC)	نسبت حلال (%1)
1	26/619736	522/25	50	40
2	12/543586	2283/8	70	90
3	16/84321	1124/3	70	40
4	26/875666	401/7	50	40
5	17/303884	982/1	50	90
6	13/51623	1983	30	65
7	27/489898	297/5	50	65
8	14/79577	1517/8	50	90
9	27/285154	356/75	50	65
10	17/047954	1046/5	70	65
11	9/216496	2583/9	70	65
12	14/232724	1732/7	30	90
13	26/466178	570/5	50	65
14	18/174046	833/8	30	65
15	23/343832	614/7	30	40

گزینش مدل مناسب در روش استخراج با حلال

از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون ضعف برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بیشترین مقدار R^2 Adj و R^2 Pred باشد. بهترین مدل برازش یافته در این تحقیق در روش استخراج با حلال،

برای هر دو پاسخ مدل درجه دوم می‌باشد که نتایج آنالیز آماری آن در ادامه آورده شده است. مدل‌های ریاضی برای پاسخ با استفاده از روش رگرسیون چندگانه مورد ارزیابی قرار گرفت. تابع واکنش یک معادله چندجمله‌ای می‌باشد که با معادله زیر داده می‌شود:

افزایش نسبت آب از 10 به 35٪ میزان فنول کل افزایش می‌یابد، که این امر احتمالاً به دلیل تورم سلول‌های گیاهی توسط آب موجود در حلال می‌باشد که با افزایش نسبت آب، سطح تماس بین ماتریکس گیاه و حلال اتانول افزایش می‌یابد همچنین افزایش آب سبب افزایش قطبیت حلال می‌شود و در نتیجه راندمان استخراج ترکیبات فنولی نیز افزایش یافته است (Xiao et al., 2008 و Jovanović et al., 2017). با افزایش میزان آب به 60٪ میزان فنول کل کاهش می‌یابد که علت این امر می‌تواند افزایش بیش از حد قطبیت حلال باشد. در مطالعه‌ای ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بلوط با حلال‌های مختلف توسط Vázquez و همکاران (2008) مورد مطالعه قرار گرفت که با افزایش قطبیت حلال میزان استخراج ترکیبات فنولی نیز افزایش یافت و بیشترین میزان استخراج، در ترکیب دو حلال اتانول- آب با نسبت 50٪ گزارش شده است. در نتایج مشابه دیگری که توسط Jovanović و همکاران (2017) در استخراج ترکیبات فنولی از گیاهی بومی و Čujić و همکاران (2016) در استخراج ترکیبات فنولی از لوبیای خشک شده، نیز گزارش شده افزایش قطبیت تا حدی سبب افزایش میزان فنول شده است. افزایش دما نیز ابتدا سبب افزایش و سپس سبب کاهش شده است. تغییرات میزان فنول کل با زمان و نسبت حلال در دمای ثابت 50 درجه سانتی‌گراد در شکل (3-ج) نشان داده شده است. با توجه به شکل افزایش زمان تا 3 ساعت سبب افزایش میزان فنول کل و پس از آن سبب کاهش می‌شود همچنین نسبت حلال تاثیر بیشتری بر میزان فنول کل داشت.

در خصوص فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز توجه داشت که هرچه IC50 بیشتر باشد آنتی‌اکسیدان ضعیف‌تر و قدرت رادیکال‌گیرندگی آن کمتر است. بنابراین عصاره‌های حاوی میزان فنول بیشتر از غلظت مؤثر کمتری برای غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد برخوردار هستند. با مقایسه نتایج حاصل از مقدار ترکیبات فنولی کل و قدرت رادیکال‌گیرندگی و همانطور که در اشکال (3-د) تا (3-ی) مشاهده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که عصاره‌هایی که مقدار بیشتر ترکیبات فنولی را در برگیرند، از قدرت رادیکال‌گیرندگی بالاتری نیز برخوردار هستند. نتایج مشابه در استخراج ترکیبات فنولی از پوست گیاه kinnow (Safdar et al., 2017) در استخراج ترکیبات فنولی از چای بهینه‌سازی استخراج ترکیبات فنولی از عنب‌نشان‌دهنده صحت نتایج حاصله می‌باشد زیرا در تمام این مطالعات نتایج نشان می‌دهد که قدرت رادیکال‌گیرندگی با میزان فنول کل رابطه مستقیم دارد.

$$y = b_0 + \sum b_{1i}x_i + \sum b_{2i}x_i^2 + \sum b_{3ij}x_i x_j \quad (2)$$

که b_0 و b_i و b_{ij} و b_{ij} ضرایب رگرسیونی برای به ترتیب عرض از مبدأ، خطی، درجه دوم و برهم‌کنش و x_i و x_j متغیرهای مستقل کدبندی شده هستند.

معادله‌های مدل برازش داده شده بر پاسخ‌ها با حذف پس‌خور به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Total phenol} = 27.08 - 1.70 A - 4.35 C - 3.12 AB - 8.62 A2 - 3.97 B2 \quad (3)$$

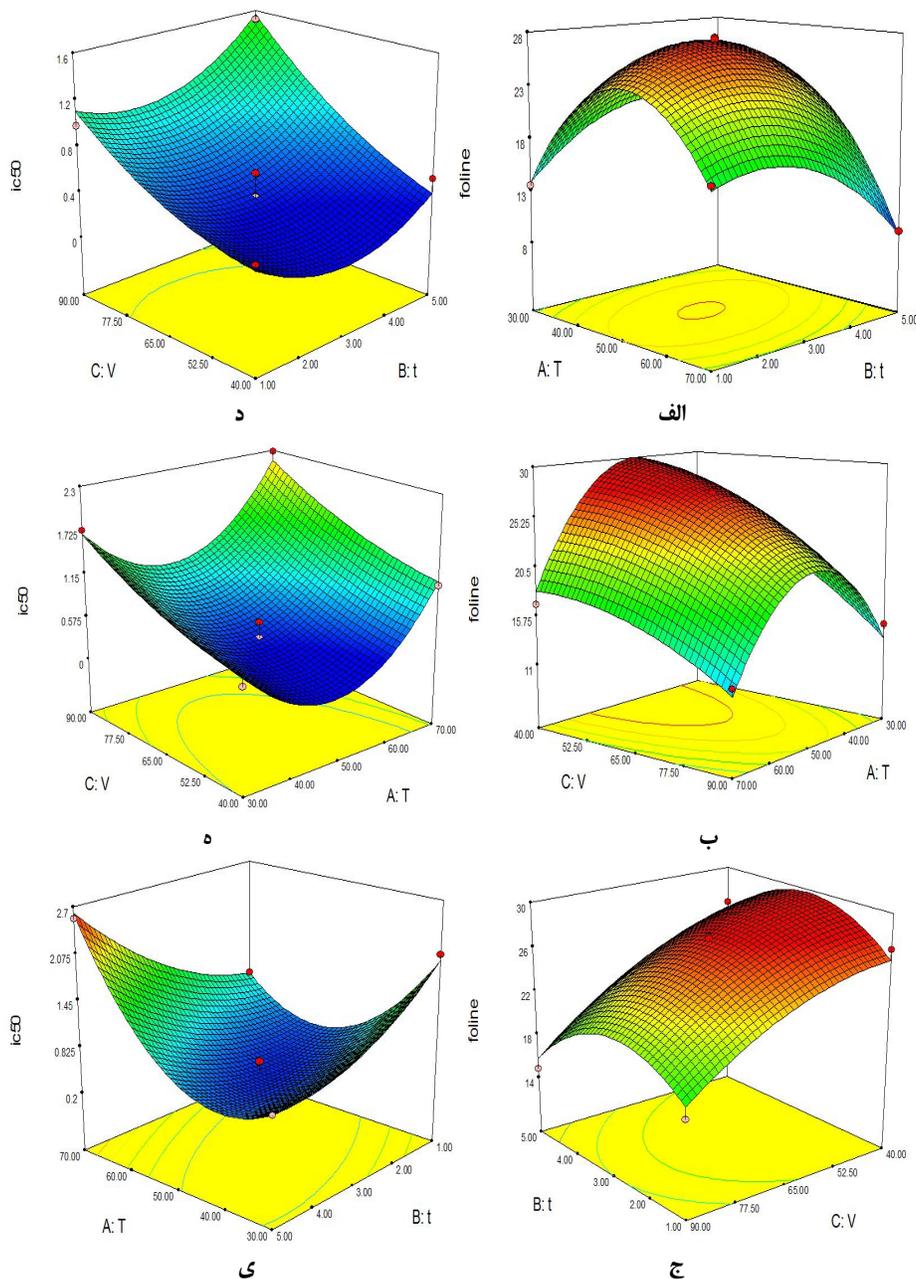
$$\text{IC50} = 0.41 + 0.23 A + 0.48 C + 0.66 AB + 0.89 A2 + 0.30 B2 \quad (4)$$

با توجه به نتایج حاصله در مورد میزان فنول کل و IC50 اثر درجه اول نسبت حلال، اثر درجه دوم دما و زمان و همچنین عبارات تاثیر متقابل دما و زمان همه در سطوح 0/99 معنی‌دار بودند. همچنین نتایج نشان داد نسبت حلال‌ها و دما بیشترین تاثیر را بر میزان فنول کل دارند.

آنالیز پاسخ سطح در روش استخراج با حلال

نمودارهای سه بعدی اثر متغیرهای مستقل و اثر متقابل هر متغیر مستقلی را بر سیستم نشان می‌دهد. در این نمودارها متغیر وابسته روی محور Z در مقابل دو متغیر مستقل ترسیم شد. با توجه به شکل (3-الف) با افزایش دما تا دمای 50 درجه سانتی‌گراد در نسبت حلال 65٪ میزان فنول کل افزایش یافته است، پس از آن افزایش دما سبب کاهش میزان فنول کل شده است که نشان می‌دهد افزایش دما تا یک مقداری کشش سطحی و ویسکوزیته حلال را کاهش داده و باعث افزایش بهبود انتقال جرم و سرعت انتشار می‌شود و پس از آن موجب از هم پاشیده شدن ساختار ترکیبات پلی‌فنولی، به علت تجزیه آنزیمی یا تجزیه حرارتی می‌شود (رضایی، 1394 و Sutivisedsak et al., 2010). نتایج Xu و همکاران (2012) در استخراج ترکیبات پلی‌فنولی از چای و Zuorro (2015) در استخراج ترکیبات پلی‌فنولی از قهوه اسپرسو نیز نشان می‌دهد که با افزایش زمان در دماهای پایین میزان فنول کل افزایش و در دماهای بالا موجب کاهش می‌شود که این امر به دلیل حساسیت ترکیبات فنولی به دما می‌باشد و قرارگیری بیش از اندازه این ترکیبات در معرض دماهای بالا باعث تخریب ساختار و تجزیه آن‌ها می‌شود.

تغییرات میزان فنول کل با دما و نسبت حلال در زمان ثابت 3 ساعت در شکل (3-ب) نشان داده شده است. با توجه به شکل با



شکل 3- نمودارهای سطح پاسخ پارامترهای استخراج در روش حلال، بر پاسخها

توجه به اینکه مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی به دست آمده فاقد اختلاف معنی‌دار بودند می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های به دست آمده قابل قبول و مناسب می‌باشند. مقادیر واقعی گزارش شده در جدول 7 میانگین دو تکرار می‌باشند. همچنین IC50 در نقطه بهینه برابر 581/6 میلی گرم به لیتر بدست آمد.

تعیین شرایط بهینه استخراج ترکیبات فنولیک از میوه عناب در روش حلالی

به منظور بهینه‌سازی میزان فنول کل از تکنیک بهینه‌سازی عددی استفاده شد. شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی برای هر یک از متغیرها و پاسخ‌های فرآیند در جدول 6 آورده شده است.

شرایط بهینه با توجه به شاخص‌های موردنظر دما 43/54 درجه سانتی‌گراد، نسبت حلال 44/92 و زمان 3/46 ساعت به دست آمد. با

جدول 6- شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی استخراج ترکیبات فنولیک

متغیرها- پاسخ	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
دما	داخل محدوده	30	70	3
زمان	داخل محدوده	1	5	3
نسبت حلال	داخل محدوده	40	90	3
میزان فنول کل	بیشترین			3

جدول 7- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده میزان فنول کل استخراجی در شرایط بهینه

پاسخ	مقدار پیش‌بینی شده	مقدار واقعی
میزان فنول کل (mg/gr)	28/139	26/21

طراحی شده با روش سیال فوق بحرانی و نقاط تعیین شده در هر آزمایش در جدول 8 نشان داده شده است. دو ستون آخر جدول، پاسخ‌های محاسبه شده هر آزمایش را پس از انجام نشان می‌دهد.

بهینه‌سازی استخراج ترکیبات فنولیک از میوه عناب به روش فوق بحرانی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) در این روش با داشتن پارامترها و محدوده‌های ذکر شده در جدول 2، تعداد 10 آزمایش توسط نرم‌افزار طراحی شد. فهرست آزمایش‌های

جدول 8- نتایج طرح آزمایشی مورد استفاده در بهینه‌سازی استخراج ترکیبات فنولیک از میوه عناب با روش فوق بحرانی

آزمون	متغیرهای مستقل		متغیرهای وابسته (پاسخ)	
	دما (oC)	فشار (bar)	TPC (mg/gr)	IC50 (mg/l)
1	60	250	522/2	17/6622
2	30	400	170/5	23/8045
3	30	100	787/9	15/4612
4	60	400	866/2	11/827
5	45	400	498/4	20/7845
6	45	250	399/3	22/0642
7	30	250	127/17	23/9581
8	45	250	113/3	24/8282
9	45	100	574/2	16/9456
10	60	100	836/4	13/4137

گزینش مدل مناسب در استخراج فوق بحرانی

با توجه به نتایج حاصله در مورد میزان فنول کل و IC50 اثر درجه اول دما، اثر درجه دوم فشار و همچنین عبارات تأثیر متقابل دما و فشار همه در سطوح 0/99 معنیدار بودند. همچنین نتایج نشان داد دما و فشار دارای تأثیر تقریباً یکسانی در میزان فنول کل دارند.

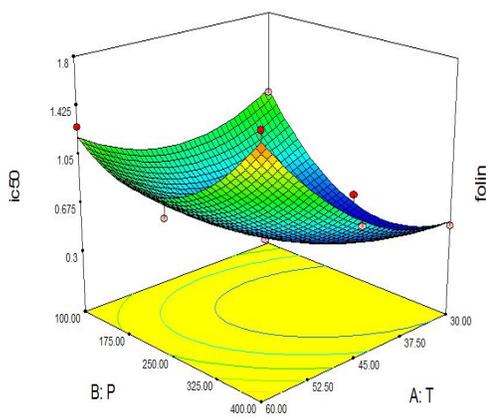
در این تحقیق طبق مقادیر R2Pred و R2Adj بهترین مدل برازش یافته در روش استخراج با حلال، برای هر دو پاسخ مدل درجه دوم می‌باشد که نتایج آنالیز آماری آن در ادامه آورده شده است. معادله‌های مدل برازش داده شده بر پاسخ‌ها با حذف پسخور به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Total phenol} = 23.48 - 3.39 A + 1.77 B - 2.48 AB - 2.69 A^2 - 4.64 B^2 \quad (5)$$

آنالیز پاسخ سطح در روش استخراج با سیال فوق بحرانی همانطور که در شکل (4- الف) مشاهده می‌شود با افزایش فشار تا 250 بار میزان فنول کل افزایش و پس از آن افزایش فشار سبب کاهش میزان فنول کل شده است زیرا افزایش فشار باعث افزایش دانسیته کربن دی‌اکسید و در نتیجه افزایش قدرت انحلال‌پذیری می‌شود از

$$\text{IC50} = 0.44 + 0.28 A + 0.26 AB + 0.27 A^2 + 0.43 B^2 \quad (6)$$

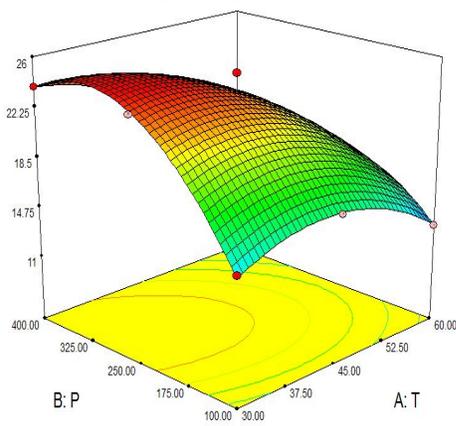
در معرض دماهای بالا باشد زیرا ویسکوزیته افزایش می‌یابد و سرعت انتقال جرم کاهش می‌یابد (Talmaciu *et al.*, 2015). در خصوص فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش فشار تا IC50 250 کاهش و پس از آن افزایش فشار سبب افزایش IC50 شده است. با مقایسه نتایج حاصل از مقدار ترکیبات فنولی کل و قدرت رادیکال گیرندگی می‌توان نتیجه گرفت که عصاره‌هایی که مقدار بیشتر ترکیبات فنولی را در برگیرند، از قدرت رادیکال گیرندگی بالاتری نیز برخوردار هستند و با توجه به اینکه IC50 با میزان فنول کل رابطه عکس دارد در نتیجه مقدار IC50 کمتری دارند. نتایج مشابه Woźniak و همکاران (2017) در استخراج ترکیبات فنولیک از لوبیای خشک شده نیز نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین میزان فنول کل و قدرت مهار رادیکال‌های آزاد می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت IC50 وابسته به میزان فنول کل می‌باشد و متناسب با آن تغییر می‌کند.



ب

طرفی افزایش فشار سبب کاهش قدرت نفوذ سیال به درون ماتریکس گیاه نیز می‌شود زیرا با افزایش فشار ویسکوزیته نیز افزایش می‌یابد که این روند سبب کاهش استخراج ترکیبات فنولیک می‌شود. بنابراین افزایش فشار تا حدی سبب افزایش میزان فنول کل استخراجی می‌شود و پس از آن اثر منفی دارد (Paes *et al.*, 2014). شرایط بهینه ($T=40$ و $P=250$ بار) در استخراج ترکیبات بایو اکتیو از ساقه یک نوع گیاه که توسط Wang و همکاران (2011) گزارش شده و استخراج ترکیبات فنولی و آنتوسیانین از بقایای زغال‌لخته ($T=40$ و $P=20$ مگاپاسکال) که توسط Paes و همکاران (2014) انجام شده است، نشان‌دهنده صحت نتایج می‌باشد.

با توجه به شکل (4- الف) در فشارهای پایین افزایش دما تا حدی سبب افزایش میزان فنول و پس از آن موجب کاهش آن می‌شود. ولی در فشارهای بالا افزایش دما سبب کاهش میزان فنول کل شده است که علت این امر می‌تواند به دلیل قرار گرفتن طولانی ترکیبات فنولی



الف

شکل 4- نمودارهای سطح پاسخ پارامترهای استخراج در روش فوق بحرانی بر پاسخ‌ها

در جدول میانگین دو تکرار می‌باشند. با توجه به اینکه مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی به‌دست‌آمده فاقد اختلاف معنی‌دار بودند می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های به‌دست‌آمده قابل قبول و مناسب می‌باشند. همچنین IC50 در نقطه بهینه برابر 532/8 میلی‌گرم به لیتر به‌دست آمد.

تعیین شرایط بهینه استخراج ترکیبات فنولیک از میوه عناب در روش فوق بحرانی

به‌منظور بهینه‌سازی میزان فنول کل از تکنیک بهینه‌سازی عددی استفاده شد. شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی برای هر یک از متغیرها و پاسخ‌های فرآیند در جدول 11 آورده شده است. شرایط بهینه با توجه به شاخص‌های موردنظر دما 34/19 درجه سانتی‌گراد و فشار 323/35 بار به‌دست آمد. مقادیر واقعی گزارش شده

جدول 11- شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی استخراج ترکیبات فنولیک

متغیرها - پاسخ	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
فشار	داخل محدوده	100	400	3
دما	داخل محدوده	30	60	3
میزان فنول کل	بیشترین			3

جدول 12- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده میزان فنول کل استخراجی در شرایط بهینه

پاسخ	مقدار پیش‌بینی شده	مقدار واقعی
میزان فنول کل	27/32	22/74

نتیجه‌گیری

که در روش فوق بحرانی با تنظیم دما و فشار می‌توان انتخاب‌پذیری را افزایش داد و ترکیبات هدف را جداسازی نمود که این امر سبب افزایش خلوص و افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود و هدف از استخراج ترکیبات فنولیک عناب خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها بود. از طرفی با توجه به کم بودن میزان فنول کل آلای مصرفی در این روش و کاهش خطرات سلامتی و زیست محیطی، می‌توان روش فوق بحرانی را به‌عنوان روشی مؤثر در استخراج ترکیبات فنولیک از میوه عناب معرفی کرد که باعث کاهش فنول آلای مصرفی می‌شود و از راندمان تقریباً برابری با روش حلال برخوردار است. در مجموع با توجه به میزان فنول کل استخراجی در هر دو روش می‌توان گفت عناب در مقایسه با سایر گیاهان از میزان فنول بالاتری برخوردار بوده و می‌تواند به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی در سطح تجاری معرفی گردد.

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از هر دو روش استخراج، میزان فنول کل استخراجی در نقطه بهینه در روش استخراج با حلال برابر 26/21 میلی‌گرم گالیک اسید به گرم عصاره خشک و در روش فوق بحرانی برابر 22/74 میلی‌گرم گالیک اسید به گرم عصاره خشک به‌دست آمد. با مقایسه مقادیر حاصله در نقطه بهینه هر دو روش، روش حلال از میزان فنول کل بیشتری برخوردار بوده و موفق‌تر عمل کرده است. اما با توجه به اختلاف ناچیز در مقادیر فنول کل استخراجی بین دو روش می‌توان روش فوق بحرانی را روشی بهتر در استخراج ترکیبات فنولی معرفی کرد زیرا روش فوق بحرانی با وجود برخورداری از میزان فنول کمتر از قدرت آنتی‌اکسیدانی بالاتری در تست‌ها برخوردار بود چرا

منابع

- رضایی ارمی، س، جعفری، م، خمیری، م، بیات، ه، 1394، استخراج عصاره پوسته گردو واریته شه‌میرزادی و تاثیر حلال و روش استخراج بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره حاصله، علوم غذایی و تغذیه، 12، 3، 85-98.
- غلامی آوارشک، س، سرگلزایی، ج، 1393، استخراج روغن تاجریزی سیاه به کمک سیال فوق بحرانی دی‌اکسید کربن، پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، 10، 4، 387-393.
- Ameer, K., Shahbaz, H. M., Kwon, J. H., 2017, Green extraction methods for polyphenols from plant matrices and their byproducts: a review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 295-315.
- Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Z., Bren, U., 2016, Polyphenols: extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects, *Molecules*, 21(7), 901.
- Collins, A. R., 2005, Antioxidant intervention as a route to cancer prevention. *European Journal of Cancer*, 41(13), 1923-1930.
- Cavalcanti, R.N., Navarro-Díaz, H.J., Santos, D.T., Rostagno, M.A., Meireles, M.A.A., 2012, Supercritical carbon dioxide extraction of polyphenols from pomegranate (*Punica granatum* L.) leaves: chemical composition, economic evaluation and chemometric approach, *Journal of Food Research*, 1(3), 282.
- Chen, K., Gao, L., Li, Q., Li, H.R., Zhang, Y., 2017, Effects of CO₂ pretreatment on the volatile compounds of dried Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller), *Food Science and Technology (Campinas)*, 37(4), 578-584.
- Čujić, N., Šavikin, K., Janković, T., Pljevljakušić, D., Zdunić, G., Ibrić, S., 2016, Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique, *Food chemistry*, 194, 135-142.
- De Melo, M., Silvestre, A., Silva, C., 2014, Supercritical fluid extraction of vegetable matrices: applications, trends and future perspectives of a convincing green technology, *The Journal of Supercritical Fluids*, 92, 115-176.
- Erasto, P., Grierson, D. S., Afolayan, A. J., 2007, Evaluation of antioxidant activity and the fatty acid profile of the leaves of *Vernonia amygdalina* growing in South Africa, *Food chemistry*, 104(2), 636-642.
- Gao, Q.H., Wu, C.S., Wang, M., 2013, The jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) fruit: a review of current knowledge of fruit composition and health benefits, *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(14), 3351-3363.
- Gao, Q.-H., Bai, C.-F., Wang, M., 2015, Polysaccharides in jujube (*Zizyphus Jujuba* Miller) fruit: Extraction, antioxidant properties and inhibitory potential against α -amylase in vitro, *Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(12), 943-949.
- Gunst, R. F., 1996, Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments, Taylor & Francis Group.
- Hauthal, W.H., 2001, Advances with supercritical fluids, *Chemosphere*, 43(1), 123-135.

- Haaland, P. D., 1989, Experimental design in biotechnology Marcel Dekker, Inc, United State of America.
- Han, H.J., Lee, J.-S., Park, S.-A., Ahn, J.-B., Lee, H.G., 2015, Extraction optimization and nanoencapsulation of jujube pulp and seed for enhancing antioxidant activity, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 130, 93-100.
- Jovanović, A.A., Đorđević, V.B., Zdunić, G.M., Pljevljakušić, D.S., Šavikin, K.P., Godevac, S.D.M., Bugarski, B.M., 2017, Optimization of the extraction process of polyphenols from *Thymus serpyllum* L. herb using maceration, heat- and ultrasound-assisted techniques, *Separation and Purification Technology*, 17(9), 369-380.
- Kim, Y.-J., Son, D.-Y., 2011, Antioxidant effects of solvent extracts from the dried jujube (*Zizyphus jujube*) sarcocarp, seed, and leaf via sonication, *Food science and biotechnology*, 20(1), 167-173.
- King, J.W., 2014, Modern supercritical fluid technology for food applications, *Annual review of food science and technology*, 5, 215-238.
- Kozłowska, M., Żbikowska, A., Gruczyńska, E., Żontała, K., Półtorak, A., 2014, Effects of spice extracts on lipid fraction oxidative stability of cookies investigated by DSC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118(3), 1697-1705.
- Li, X.S., Mu, H.X., Huang, H.T., Li, Z., Hu, Q.F., 2012, Phenolic Compounds from the Fruits of *Ziziphus jujuba* Miller, *Asian Journal of Chemistry*, 2(4), 73-75.
- Mahajan, R.T., Chopda, M., 2009, Phyto-Pharmacology of *Ziziphus jujuba* Mill.-A plant review, *Pharmacognosy Reviews*, 3(6), 320-329.
- Mostaf, U.E.S., Labban, L., 2013, Effect of *Zizyphus jujuba* on serum lipid profile and some anthropometric measurements, *Advancement in Medicinal Plant Research*, 1(3), 49-55.
- Moraes, M.N., Zobot, G.L., Prado, J.M., Meireles, M.A.A., 2013, Obtaining Antioxidants from Botanic Matrices Applying Novel Extraction Techniques, *Food and Public Health*, 3(4), 195-214.
- Plastina, P., Bonofiglio, D., Vizza, D., Fazio, A., Rovito, D., Giordano, C., Barone, I., Catalano, S., Gabriele, B., 2012, Identification of bioactive constituents of *Ziziphus jujube* fruit extracts exerting antiproliferative and apoptotic effects in human breast cancer cells, *Journal of Ethnopharmacology*, 140(2), 325-332.
- Pahuja, M., Mehla, J., Reeta, K., Joshi, S., Gupta, Y.K., 2011, Hydroalcoholic extract of *Zizyphus jujuba* ameliorates seizures, oxidative stress, and cognitive impairment in experimental models of epilepsy in rats, *Epilepsy & Behavior*, 21(4), 356-363.
- Paes, J., Dotta, R., Barbero, G.F., Martínez, J., 2014, Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) residues using supercritical CO₂ and pressurized liquids, *The Journal of Supercritical Fluids*, 95, 8-16.
- Preeti, T., Tripathi, S., 2014, *Ziziphus jujuba*: A Phytopharmacological Review, *International Journal of Research and Development in Pharmacy and Life Sciences*, 3(3), 959-966.
- Su, P., Liu, X., 2005, Photosynthetic characteristics of linze jujube in conditions of high temperature and irradiation. *Scientia horticulturae*, 104(3), 339-350.
- Sutivisedsak, N., Cheng, H., Willett, J., Lesch, W., Tangsrud, R., Biswas, A., 2010, Microwave-assisted extraction of phenolics from bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Food Research International*, 43(2), 516-519.
- Safdar, M.N., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., Saddozai, A.A., 2017, Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration techniques, *Journal of food and drug analysis*, 25(3), 488-500.
- Talmaciu, A.I., Volf, I., Popa, V.I., 2015, supercritical fluids and ultrasound assisted extractions applied to spruce bark conversion, *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ)*, 14(3), 615-623.
- Vázquez, G., Fontenla, E., Santos, J., Freire, M., González-Álvarez, J., Antorrena, G., 2008, Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts, *Industrial crops and products*, 28(3), 279-285.
- Valle, J.M.D., De La Fuente, J.C., 2006, Supercritical CO₂ extraction of oilseeds: review of kinetic and equilibrium models, *Critical reviews in food science and nutrition*, 46(2), 131-160.
- Verma, S., 2016, A review on *Ziziphus nummularia*: valuable medicinal plant desert, *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science*, 5(3), 539-542.
- Wijngaard, H. H., Rossle, C., Brunton, N., 2009, A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants, *Food Chemistry*, 116(1), 202-207.
- Wang, S., Zhang, J., Zhidan, Z., Gao, W., Yan, Y., Ji, X., 2014, Identification of chemical constituents in the extract and rat serum from *Ziziphus jujuba* Miller by HPLC-PDA-ESI-MSn, *Iranian journal of pharmaceutical research: IPR*, 13(3), 1055-1063.

- Wang, Y., Ying, L., Sun, D., Zhang, S., Zhu, Y., Xu, P., 2011, Supercritical carbon dioxide extraction of bioactive compounds from *Ampelopsis grossedentata* Stems: Process optimization and antioxidant activity, *International journal of molecular sciences*, 12(10), 6856-6870.
- Woźniak, Ł., Marszałek, K., Skąpska, S., Jędrzejczak, R., 2017, the Application of Supercritical Carbon Dioxide and Ethanol for the Extraction of Phenolic Compounds from Chokeberry Pomace, *Applied Sciences*, 7(4), 322.
- Xiao, W., Han, L., Shi, B., 2008, Microwave-assisted extraction of flavonoids from Radix Astragali, *Separation and Purification Technology*, 62(3), 614-618.
- Xu, P., Bao, J., Gao, J., Zhou, T., Wang, Y., 2012, Optimization of extraction of phenolic antioxidants from tea (*Camellia sinensis* L.) fruit peel biomass using response surface methodology, *BioResources*, 7(2), 2431-2443.
- Yan, Y.H., Gao, Z.P., 2002, Industrialization of Chinese jujube, *Journal of Northwest Science and Technology University of Agriculture*, 30, 95-98.
- Zhao, H.X., Zhang, H.S., Yang, S.F., 2014, Phenolic compounds and its antioxidant activities in ethanolic extracts from seven cultivars of Chinese jujube, *Food Science and Human Wellness*, 3(3), 183-190.
- Zhang, H., Jiang, L., Ye, S., Ye, Y., Ren, F., 2010, Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanolic extract of different tissues of jujube (*Ziziphus jujuba* Miller) from China, *Food and Chemical Toxicology*, 48(6), 1461-1465.
- Zuo, Y., Zeng, A., Yuan, X., Yu, K., 2008, Extraction of soybean isoflavones from soybean meal with aqueous methanol modified supercritical carbon dioxide, *Journal of Food Engineering*, 89(4), 384-389.
- Zuorro, A., 2015, Optimization of polyphenol recovery from espresso coffee residues using factorial design and response surface methodology, *Separation and Purification Technology*, 152, 64-69.

Optimization of phenolic compounds extraction of *Ziziphus Jujuba* using supercritical fluid of carbon dioxide and measurement of its antioxidant activity

F. Farzaneh Moghaddam¹, J. Sargolzaei^{*2}, Sh. Bolourian³

Received: 2018.08.06

Accepted: 2019.05.05

Introduction: The term antioxidant is said to be compounds that are delaying or preventing oxidization of a substance at their own presence, which leads to reach a stabilized food quality (Collins, 2005). Natural antioxidants are often phenolic compounds that exist in all parts of a plant. These compounds are secondary metabolites that can inhibit active oxygen species by giving hydrogen atoms and converting them into more stable non-radical compounds due to oxidation and reduction properties. They also have the ability to chelate the metals (Wijngaard et al., 2009 and Erasto et al., 2007). Regarding the positive effects of natural antioxidants, many studies have been conducted to extract, identify and apply them from various herbal sources. Edible fruit jujube is a member of the *Ramanaceae* family, known in Iran as the jujube. The plants of the family are jujube flowers, which are all diploid and have 24 chromosomes. The jujube tree has been cultivated in China for thousands of years ago and is used as a medicine, food and food flavoring, also distributed in tropical and subtropical regions of Europe, Australia and South Asia. (Su et al., 2005, Yan et al., 2002, Preeti et al. 2014). Phenolic compounds have a high potential for antioxidants and a natural source of antioxidants. The antioxidant capacity of the Jujube is due to its antioxidant compounds such as flavonoids, total phenolic, anthocyanins and ascorbic acid. (Zhao et al., 2014) and (Zhang et al., 2010). Shell, pulp and fruit jujube seeds have a wide range of phenolic compounds and have long been used as a drug and flavor agent (Zhang et al., 2010, Mahajan et al., 2009). Many studies have investigated the effects of Jujube fruit and its juice on the prevention and treatment of diseases such as digestive disorders, weakness, obesity, liver problems, diabetes, skin infections, Infections, Anemia, and Allergies have been reported (Gao et al., 2015 and 2013, Kim et al., 2011, Verma, 2016, Li et al., 2012). In a study by Wang et al. on Jujube fruit, 22 compounds were identified in ethanol jujube extracts (Wang et al., 2014). Zhang et al. The study that they carried out showed that the antioxidant activity of the jujube is due to its antioxidant compounds, such as flavonoids, total phenolic, anthocyanidins and ascorbic acid (Zhang et al., 2010). Italian scientists influence the phenolic compounds of jujube fruit extract on breast cancer cells (Plastina et al., 2012). During a study conducted in Egypt, the effect of jujube fruit on obesity, lipid profile and liver function were examined. (Mostafa et al., 2013). In another study on juvenile fruit phenolic compounds, the effect of jujube on seizure treatment was evaluated and the results showed that jujube has protective properties against seizure, oxidative stress and other disorders. (Pahuja et al., 2011).

In this research, extraction of phenolic compounds of *Ziziphus Jujuba* extracts has been performed using the supercritical carbon dioxide fluid method and optimization of the extracted compounds and the measurement of the antioxidant activity of Jujube fruit.

Materials and methods: Jujube fruit was prepared from Birjand in late August. Chemical materials such as pure ethanol, reagent Folin-Cictalto, sodium carbonate and free radical molecules from German-German corporations and Sigma Aldrich, and laboratory glassware and instruments such as volumetric balloons, refrigerators and freezers, spatula, vertex, buret, pipettes, calibrated cylinders, Filter paper, Falcon, Human Dimension, Mesh 30, Funnel and Arlene were provided. The freshly purchased fruits were separated from the tree before drying. After separating the jujube grain, the fruit was dried at 40°C in a digital-powered oven (volume 5 liters made by Binder Company in Germany), and dried with the aid of a home-made mill. For particles of uniform size, the resulting powder was sown using a mesh 30 and kept in a refrigerator at -20°C until it was extracted.

Results & discussion: Generally, according to the results of both solvent extraction and supercritical fluid extraction (SFE) methods, the total amount of phenolic extraction at the optimal point in terms of mg Gallic acid to gram of dry extract in the solvent extraction and in the supercritical method were 26.21 and 2.24, respectively. Comparison of the obtained values at the optimal point of both methods indicated that the solvent method shows higher values of the total phenol content and it has been more successful. However, due to the insignificant differences in total extraction phenol

1 and 2. Former MSc and Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

3. Assistant Professor, Department of Food additives, Food Science and Technology Research Institute, Academic Center for Education, Culture and research (ACECR).

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

content between the two methods, the supercritical method can be described as a better way to extract phenolic compounds, since the supercritical method was less effective than antioxidant power despite the presence of phenol, because in the supercritical method, the selectivity can be increased and the target compounds can be isolated by adjusting the temperature and pressure which increases the purity and increase the antioxidant property, and the purpose of the extraction of phenolic compounds. On the other hand, due to the low amount of organic solvent used in this method and the reduction of health and environmental risks, the supercritical method can be introduced as an effective method for extraction of phenolic compounds from *Ziziphus Jujube* fruit, which reduces the consumption of organic solvent and causes in an efficiency equal with solvent method approximately. In general, according to the amount of total phenolic extraction in both methods, it can be said that Jujube has higher phenol content than other herbs and it can be introduced as a natural antioxidant at the commercial level.

Keywords: *Ziziphus Jujuba*, optimization, phenolic compounds, supercritical fluid, antioxidant activity

ارزیابی و مقایسه خصوصیات ماست چکیده تولید شده به روش فرآیند بدون آب‌گیری (wheyless) با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی

مصطفی کاشانی نژاد¹ - مسعود نجف نجفی^{2*} - محسن قدس روحانی³ - مرتضی کاشانی نژاد⁴

تاریخ دریافت: 1397/06/11

تاریخ پذیرش: 1398/01/15

چکیده

در این پژوهش اثر کنسانتره پروتئین شیر (mpc)، پودر آب پنیر (cwp) و صمغ کنجاک (kg) بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی ماست چکیده مورد بررسی قرار گرفت و سپس این خصوصیات با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی مقایسه گردید. نتایج آزمون‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که با افزایش میزان mpc و کاهش cwp، تغییرات pH پس از 5 روز و آب‌اندازی نمونه‌ها کاهش یافت. بر طبق نتایج حاصل از آزمون اکسترژن برگشتی - آنالیز پروفیل بافت، با افزایش میزان صمغ کنجاک سختی، چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری بهبود یافته برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش یافت در حالی که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp پیوستگی نمونه‌ها کاهش نشان داد. بر اساس آزمون کرنش متغیر نیز با افزایش میزان صمغ کنجاک، G' LVE، G'' LVE، τ_f ، τ_y و G_f نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین خصوصیات حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نشان داد که رابطه‌ای نزدیک بین امتیاز مزه ترش با پذیرش کلی نمونه‌ها وجود داشت که این امر نشان دهنده اهمیت بیشتر امتیاز مزه ترش در بین صفات اندازه‌گیری شده برای پذیرش کلی مصرف‌کنندگان بود.

واژه‌های کلیدی: آزمون اکسترژن برگشتی - آنالیز پروفیل بافت، آزمون کرنش متغیر، پودر آب پنیر، کنسانتره پروتئین شیر

مقدمه

زیاد می‌باشد (Ozer *et al.*, 1999). لذا امروزه، استفاده از روش‌های مناسب‌تر از جمله روش فرآیند بدون آب‌گیری⁵ توسط پودرهای پروتئینی حاصل از شیر مانند شیر خشک، کنسانتره‌های پروتئینی شیر و پودر آب پنیر طرفداران زیادی دارد. در تولید ماست ساختار و خصوصیات رئولوژیکی عوامل مهمی در تعیین پذیرش آن توسط مصرف‌کنندگان است. این خصوصیات به عواملی همچون میزان مواد جامد ماست، میزان چربی، میزان پروتئین‌های موجود، نوع و نسبت پروتئین‌ها، نوع و غلظت ثبات‌دهنده‌ها و یا قوام‌دهنده‌های مورد استفاده و شرایط فرآیندی نظیر عملیات حرارتی وابسته است (Jumah *et al.*, 2001). لذا ترکیب اجزاء شیر مورد استفاده برای تولید ماست از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. فرایند حرارتی شیر، عامل مهم دیگری است که می‌تواند بر زمان تخمیر و خواص فیزیکی ماست اثر بگذارد. نکته جالب توجه این است که برهمکنش بین فرایند حرارتی با ترکیبات موجود در شیر از هر کدام از این دو عامل به تنهایی مهم‌تر می‌باشد (Soukoulis *et al.*, 2007). داده‌های مربوط به اثرات کمی و کیفی غنی‌سازی ماده

لبنه یا ماست تغلیظ شده یا ماست چکیده یک محصول نیمه جامد است که از ماست و به طریق آبگیری و یا جدا کردن قسمتی از آب یا مواد محلول در آب به‌دست می‌آید. ارزش تغذیه‌ای بالا، قابلیت ماندگاری بیشتر، طعم و بافت مطلوب‌تر و امکان تهیه محصولات متنوع از این محصول تخمیری، از جمله دلایل پذیرش بالای آن در بین مصرف‌کنندگان است (Nsabimana *et al.*, 2005). ماست چکیده معمولاً با روش سنتی و پر زحمت استفاده از کیسه‌های پارچه‌ای که در آن قسمتی از فاز سرمی جدا می‌شود، تولید می‌گردد. روش‌های پیچیده‌تر تولید این ماست مستلزم صرف زمان طولانی‌تری بوده، همچنین احتمال آلودگی و کاهش ارزش تغذیه‌ای فرآورده در آن

1، 2 و 3 - به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات.

4 - دانشجوی دکترا، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

DOI: 10.22067/ifstrj.v15i2.74805

در پژوهش‌های مختلف، اثر ترکیب شیمیایی و روش‌های تولید خشک (Tamime et al., 1999; Ozer et al., 1999)، افزایش نوع ماده خشک (Ozer et al., 1998; Salji, 1991) و استفاده از هیدروکلئیدها (Sodini et al., 2005) بر خواص فیزیکی و شیمیایی و رئولوژیکی ماست چکیده بررسی شده است و تاکنون مطالعات کمی بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی و رئولوژیکی و حسی ماست چکیده تولید شده به روش فرآیند بدون آب‌گیری وجود دارد (Lowe, 2004). از طرفی استفاده از حواس انسان برای ارزیابی مواد غذایی، دارای محدودیت‌های زیادی می‌باشد و اغلب ارزیابی‌های حسی انجام شده دارای خطا بوده و یا تکرار پذیری آن امکان‌پذیر نیست (Gambaro et al., 2004) لذا استفاده از داده‌های دستگاهی که بتواند منعکس‌کننده اندازه‌گیری‌های حسی بوده و دارای همبستگی بالایی با نتایج حسی باشند، می‌تواند مفید واقع گردد.

در این پژوهش با توجه به اهمیت ماست چکیده تولید شده به روش فرآیند بدون آب‌گیری، اثر اجزاء مختلف فرمولاسیون از جمله کنسانتره پروتئین شیر، پودر آب پنیر و صمغ کنجاک بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، رئولوژیکی و حسی ماست چکیده مورد بررسی قرار گرفت و سپس این خصوصیات با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

شیر گاو (ماده خشک 10/5 درصد، چربی 3/3 درصد، پروتئین 3/75 درصد، لاکتوز 5/63 درصد، خاکستر 0/86 درصد) از بازار محلی مشهد، شیر خشک بدون چربی (رطوبت 3/6 درصد، چربی 0/5 درصد، پروتئین 32/5 درصد، لاکتوز 45 درصد، خاکستر 8/5 درصد)، کنسانتره پروتئین شیر (رطوبت 4/1 درصد، چربی 0/5 درصد، پروتئین 69/5 درصد، لاکتوز 17 درصد، خاکستر 8/5 درصد)، پودر آب پنیر (رطوبت 2/3 درصد، چربی صفر درصد، پروتئین 5/4 درصد، لاکتوز 78 درصد، خاکستر 7/6 درصد)، آغازگر تجاری (ABY₁, Cristian Hansen, Hørsholm, Denmark) از کارخانه پگاه خراسان رضوی و صمغ کنجاک (Food Chem Co.) چین تهیه گردیدند.

تهیه ماست چکیده

به‌منظور تغلیظ هرچه بیشتر شیر مورد استفاده، به ازاء هر کیلوگرم شیر 3 درصد پودر شیر خشک بدون چربی به همه نمونه‌ها اضافه گردید و سپس مطابق طرح آزمایشی (جدول 1) کنسانتره پروتئین شیر و پودر آب پنیر نیز به نسبت‌های صفر، 4، 6 و 8 درصد به آن اضافه شد به طوری که ماده خشک نهایی 21/5 درصد ثابت بود. صمغ کنجاک نیز با نسبت‌های صفر، 0/05، 0/1، 0/15 و 0/2 درصد مطابق روش yazisky و همکاران (2004) در

خشک بر روی شاخص‌های فیزیکی نظیر ویسکوزیته ظاهری، استحکام ژل یا حساسیت به آب اندازی¹ توسط محققین زیادی ارائه گردیده است. نتایج مربوط به استحکام و آب اندازی ماست با نسبت اصلاح شده پروتئین سرم به کازئین تا حدودی در تعارض می‌باشند. به هر حال تمایل به سمت ژل‌های نرم‌تر و با ویسکوزیته کمتر برای محصولاتی که پروتئین سرم بالایی دارند، در مقایسه با محصولاتی که به همان میزان دارای پروتئین کازئین هستند، مشاهده می‌شود. در هر مورد، محدودیت افزایش نسبت پروتئین سرم به کازئین به علت ایجاد طعم نامطلوب توصیه شده است (Fox, 2003).

تحقیقات جدید زیادی روی موضوع چگونگی تأثیر پروتئین‌های سرم بر بافت ماست انجام شده است (Lucey, 2009). اگر تشکیل ژل در شیر حرارت ندیده رخ دهد، تنها کازئین بر تشکیل ژل مؤثر است، اما این مسئله پس از پیش گرم کردن شیر که منجر به دناتوراسیون پروتئین‌های سرم می‌شود، کاملاً متفاوت می‌باشد (van Vliet et al., 2004). پروتئین‌های دناتور شده سرم که در زمان حرارت‌دهی، به سطح میسل‌های کازئین متصل شده‌اند، عامل بسیار مهمی در افزایش سختی در ژل‌های ماست تهیه شده از شیر حرارت دیده هستند (Lucey et al., 1998). این پروتئین‌ها موجب تجمع میسل‌ها در pHهای بالاتر، به دلیل pH ایزوالکتریک بالاتر (5/3) پروتئین اصلی سرم، یعنی بتالاکتوگلوبولین، نسبت به کازئین‌ها می‌شوند (Lucey et al., 1997). افزودن پروتئین‌های سرم، ثابت و استحکام ماست‌های کم‌چرب را تقویت می‌کند (Krzeminski et al., 2011). پیوند عرضی بیشتر ژل‌ها توسط پروتئین‌های سرم دناتور شده استحکام ژل را افزایش می‌دهد (Lucey et al., 1997). یکی از راه‌های افزایش قوام و بهبود بافت ماست و محصولات لبنی مشابه استفاده از هیدروکلئیدها است. این ترکیبات برای بهبود خواص رئولوژیکی و بافتی در صنایع غذایی کاربرد دارد و اغلب به‌عنوان مواد افزودنی به‌منظور افزایش ویسکوزیته، تشکیل ساختار ژل و افزایش مقاومت فیزیکی، تشکیل فیلم، کنترل تبلور، مهار آب انداختن و بهبود بافت به کار می‌روند (ید ملت و همکاران، 1396). صمغ کنجاک پلی ساکاریدی خنثی است که از گیاهی پایا و چندساله متعلق به خانواده گل شیپوریان² و گونه بیربخت نراله³ مشتق شده و به‌خوبی در کشورهای شرقی در طی قرن‌ها شناخته شده است (Chua et al., 2012). قابلیت نگهداری آب و توانایی کاهش کلسترول و گلوکز در خون باعث گردیده تا این صمغ مورد توجه و استقبال زیادی قرار گیرد (Zhang et al., 2015).

1 Syneresis

1 Araceae

2 Amorphophallus

چسبندگی⁶ (مساحت زیر نمودار در قسمت منفی) و نیروی چسبندگی⁷ (بیشترین مقدار نیرو در قسمت منفی).

آزمون رئولوژیکی دینامیکی (آزمون کرنش متغیر)

اندازه‌گیری پارامترهای رئولوژیکی دینامیک با استفاده از رئومتر پارافیزیکا (Paar GmbH, Physica MCR 301, Anton) (Stuttgart, Germany) انجام پذیرفت. این رئومتر مجهز به هندسه دو صفحه موازی با قطر 50 میلی‌متر و فاصله دو صفحه⁸ 2 میلی‌متر بود. از نرم‌افزار Rheoplus/32, version V3.40 جهت تعیین پارامترهای رئولوژیکی مختلف (G' , G'' و η^*) استفاده شد. دمای صفحه پایینی نیز با به‌کارگیری سیستم پلتیر کنترل گردید و برای حفظ یکنواخت دما در حالت فعال در طی آزمون، نمونه‌ها با یک هود اختصاصی دستگاه محافظت شدند. آزمون تنش متغیر در محدوده 0/01 تا 100 درصد و فرکانس یک هرتز و در دمای 20°C برای تعیین مدول الاستیک در ناحیه خطی (G'_{LVE})، مدول افت در ناحیه خطی (G''_{LVE})، کرنش بحرانی (γ_c)، تنش تسلیم (τ_y)، تاثرات اتلاف در ناحیه خطی ($\tan \delta_{LVE}$)، تنش تسلیم در نقطه جریان (τ_f) و مدول الاستیک در نقطه جریان ($G_f: G' = G''$) انجام گرفت (Balaghi et al., 2011).

ارزیابی حسی

به‌منظور تعیین اثر متغیرهای فرآیند بر ویژگی‌های حسی و پارامترهای کیفی ماست چکیده، صفات حسی متعددی تعریف شد و از داوران حسی آموزش دیده خواسته شد بر اساس هر یک از صفات، نمونه‌های ماست چکیده را با استفاده از آزمون چشایی به روش هدونیک به‌صورت آزمون پنج نقطه‌ای (از خیلی بد: 1، تا خیلی خوب: 5) مورد ارزیابی قرار دهند (استاندارد بین‌المللی IDF، 1997). صفات حسی مورد بررسی عبارت بودند از: سفتی، چسبندگی، ذوب‌شوندگی، مزه ترش، رنگ و در نهایت پذیرش کلی که هر کدام دارای تعاریف و روش آزمون منحصر به فردی بودند. 10 نفر (3 زن و 7 مرد) داوران حسی از بین دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد و مرکز تحقیقات و آموزش جهاد کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در محدوده سنی 25 تا 37 سال که به‌طور کامل با ویژگی‌های ماست چکیده آشنا بودند، انتخاب گردیدند. آموزش اعضای پنل شامل بحث روی اصطلاحات علمی مورد استفاده و تعاریف حسی آنها بود. نمونه‌ها (بسته‌های 30 گرمی) در دمای 10°C در اختیار داوران قرار گرفت.

دمای 40°C اضافه گردید. فرمولاسیون تهیه شده به این روش در دمای 50°C هموزن گردید و به مدت 1 دقیقه در دمای 90°C پاستوریزه شد. سپس نمونه تا دمای 43-45°C سرد شد و 0/04 درصد باکتری‌های آغازگر در نظر گرفته شده به فرمولاسیون تهیه شده اضافه گردید و به مدت 3-4 ساعت در دمای 43-45°C نگهداری شدند. پس از رسیدن به pH مورد نظر (4/5) مجدداً به‌آرامی هم‌زده شدند و سپس در ظروف پلی‌اتیلنی بسته‌بندی گردیدند. ماست چکیده تولید شده جهت خنک شدن و نگهداری به سردخانه (3°C) منتقل شد و بعد از 24 ساعت آزمون‌های مورد نظر بر روی آن انجام گردید.

pH

مطابق با (AOAC 2005 official methods (935.42) تعیین شد (AOAC, 1995).

آب‌اندازی

برای اندازه‌گیری میزان آب‌اندازی نمونه‌ها، 25 گرم ماست در دمای 4°C درجه سانتی‌گراد و به مدت 10 دقیقه در 4500 دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. آب‌اندازی به‌عنوان درصد وزنی سرم جدا شده مورد ارزیابی قرار گرفت (Debon et al., 2010).
(1) 100×وزن نمونه اولیه/(وزن نمونه بعد از فیلتر شدن - وزن نمونه اولیه) = سرم آب پنیری جدا شده

آزمون اکسترژن برگشتی - آنالیز پروفیل بافت

برای انجام آزمون اکسترژن برگشتی-آنالیز پروفیل بافت از دستگاه بافت‌سنجی (Stable Micro Systems، لندن) استفاده گردید (Bourne, 1978). جهت انجام این آزمون، سیلندر با قطر 50 و ارتفاع 100 میلی‌متر و پروب با قطر 45 و ارتفاع 100 میلی‌متر و سرعت حرکت پروب 1 میلی‌متر برثانیه در نظر گرفته شد. نمونه‌های ماست چکیده در دمای 10°C، تا 60% ارتفاع اولیه (ارتفاع 40 میلی‌متر سیلندر) طی دو سیکل توسط دستگاه اکسترود گردیدند. صفات مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از سختی¹ (ارتفاع پیک اصلی در منحنی اول در مرحله و با واحد نیوتن)، پیوستگی² (سطح زیر منحنی دوم در مرحله رفت به سطح زیر منحنی اول در مرحله رفت)، حالت فنری³ (فاصله بین شروع منحنی دوم تا رسیدن این منحنی به پیک)، حالت صمغی⁴ (مقدار آن از حاصل ضرب مقادیر سختی در پیوستگی)، حالت آدامسی⁵ (حاصل ضرب مقادیر حالت فنری در حالت صمغی)،

- 1 Hardness
- 2 Cohesiveness
- 3 Springiness
- 4 Gumminess
- 5 Chewiness

- 6 Adhesiveness
- 7 Adhesive Force
- 8 Gap

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند

در این پژوهش اجزای طرح مخلوط شامل mpc به میزان صفر تا 8 درصد و cwp به میزان 0 تا 8 درصد تعریف شد، به طوری که این اجزاء 8 درصد وزن فرمول کلی را تشکیل دادند و فاکتور فرآیند

$$Y = \sum_{k=1}^q y_k^0 x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=i+1}^q y_{kl}^0 x_k x_l + \sum_{i=1}^m \left[\sum_{k=1}^q y_k^i x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=k+1}^q y_{kl}^i x_k x_l \right] z_i + \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{l=i+1}^m \left[\sum_{k=1}^q y_k^{ij} x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=k+1}^q y_{kl}^{ij} x_k x_l \right] z_i z_j + \varepsilon_0 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{m-1} \sum_{l=i+1}^m \left[\sum_{k=1}^q y_k^{ij} x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=k+1}^q y_{kl}^{ij} x_k x_l \right] z_i z_j$$

مربوط

به اثرات خطی متقابل اجزای مخلوط و متغیرهای فرآیند می‌باشد.

$$\sum_{k=1}^q y_k^0 x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=i+1}^q y_{kl}^0 x_k x_l$$

مربوط به اثرات

که در مدل فوق

خطی و غیرخطی اجزای مخلوط

$$\left[\sum_{k=1}^q y_k^i x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=k+1}^q y_{kl}^i x_k x_l \right] z_i$$

مربوط به اثرات خطی و

و

غیرخطی متغیرهای فرآیند

سپس با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح 0/001، 0/01، 0/05 بررسی شد.

جدول 1- سطوح کدبندی شده متغیرهای فرآیند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط - فرآیند

سطوح متغیر		نوع متغیر	نماد	متغیر (درصد)
-1	+1			
0	8	مخلوط	X ₁	کنسانتره پروتئین شیر (mpc)
0	8	مخلوط	X ₂	پودر آب پنیر (cwp)
0	0/2	فرآیند	X ₃	صمغ کنجاک

جدول 2- سطوح واقعی متغیر فرآیند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط - فرآیند

فرآیند	مخلوط	تیمار	
صمغ کنجاک (درصد)	پودر آب پنیر (درصد)	کنسانتره پروتئین شیر (درصد)	
0/05	2	6	1
0/2	0	8	2
0/1	4	4	3
0	4	4	4
0	0	8	5
0	4	4	6
0/1	8	0	7
0	8	0	8
0/2	4	4	9
0/2	8	0	10
0/15	6	2	11
0/1	0	8	12
0/1	4	4	13
0/2	4	4	14

و تست عدم برازش استفاده گردید. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است ضریب تبیین برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده بالاتر از 0/65 بوده و فاکتور عدم برازش نیز برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح اطمینان 95% معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین بالا بودن ضریب تبیین و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای تمامی پاسخ‌ها صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند. برای مشاهده بهتر اثر متغیرهای مستقل بر روی صفات مورد آزمایش، نمودارهای سطح پاسخ برای هر صفت رسم گردید.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی pH و تغییرات pH پس از 5 روز

کاهش pH ناشی از اسیدسازی با خنثی کردن بارهای منفی مسیل‌های کازئین امکان اجتماع این میسل‌ها و تشکیل شبکه کازئینی ژل را فراهم می‌آورد. pH بهینه نهایی برای دستیابی به خواص مطلوب بافت 4/6 - 4/1 گزارش شده است. به‌عنوان قاعده‌ای کلی از آن‌جا که pH بر کم و کیف جاذبه‌ها و پیوندهای میان مولکول‌ها اثر می‌گذارد (مانند پیوندهای پروتئین- پروتئین یا کربوهیدرات- پروتئین) خواص بافتی و رئولوژیک ژل را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Walstra et al., 1999).

نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ کدام از اثرات خطی، درجه دوم و متقابل افزودن cwp ampc و صمغ کنجاک بر روی pH نمونه‌ها در روز اول معنی‌دار نبود. کاهش pH بعد از فرآیند تولید و در زمان نگهداری عمدتاً تحت تأثیر آغازگرهای مورد استفاده برای تولید ماست، زمان و دمای نگهداری می‌باشد (Lanzanova et al., 1993). به‌عبارت دیگر کاهش pH و افزایش اسیدیته نمونه‌های ماست در طی زمان نگهداری به‌دلیل فعالیت متابولیکی ماندگار آغازگرهای ماست است که با تخمیر لاکتوز به تولید اسید لاکتیک ادامه می‌دهند و بیش اسیدی شدن نامیده می‌شود (Hassan et al., 1996) لذا با توجه به این‌که ماده خشک کلیه نمونه‌های ماست چکیده ثابت بود و لاکتوز نیز به میزان کافی به‌منظور فعالیت باکتری‌های آغازگر وجود داشته است لذا شرایط فعالیت آغازگرها برای کلیه نمونه‌ها یکسان بوده است و کلیه اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ناشی از افزودن cwp ampc و صمغ کنجاک بر روی pH نمونه‌ها در روز اول معنی‌دار نبود.

نتایج تحقیق نشان داد که تغییرات pH نمونه‌های مورد آزمون پس از 5 روز بین 0/36 تا 0/94 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Quadratic x Linear)، تنها اثرات خطی mpc و cwp در سطح 99 درصد و اثر متقابل cwp -kg در سطح 95 درصد بر روی تغییرات pH نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل 1 تأثیر cwp ampc و صمغ کنجاک بر روی تغییرات pH نمونه‌های ماست چکیده را با توجه به معادله y_1 جدول 3 نشان می‌دهد.

نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری (Design-Expert version 10) به روش طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند آنالیز شد و هر یک از متغیرهای پاسخ در قالب مدل رگرسیون ترکیبی (استف) طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند که به صورت زیر به‌دست می‌آید ارائه شد (Dal Bello et al., 2011).

به‌کارگیری روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی (PCA¹) و رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLS²)

روش‌های آماری که برای بیان و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده هم‌زمان چند متغیر به‌کار می‌رود تحلیل چند متغیره نامیده می‌شود. یکی از این روش‌ها، PCA می‌باشد. PCA یک روش آماری مفید برای فشرده‌سازی اطلاعات تصاویر، کاهش تعداد پاسخ‌های یک آزمایش یا فرآیند با پاسخ‌های زیاد به‌وسیله ترکیب نمودن پاسخ‌ها می‌باشد بدون این‌که اطلاعات اصلی داده‌ها نادیده گرفته شود. یکی از ابزارهای مهم برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته از روی متغیرهای مستقل، استفاده از معادلات رگرسیون می‌باشد.

وجود برخی از معایب همچون وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل یا توضیحی در برخی از مطالعات باعث نامعتبر شدن مطالعات رگرسیونی (حداقل مربعات عمومی) شده است. از این‌رو محققان روش‌های جدیدی برای بنا کردن معادله پیش‌بینی ارائه داده‌اند که روش رگرسیونی موسوم به کمترین مربعات جزئی از مهمترین این معادلات می‌باشد. در این روش، مؤلفه‌های جدید متعامدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند، ایجاد شده سپس از این مؤلفه‌ها برای ساختن معادله رگرسیونی استفاده می‌شود. در مدل رگرسیون PLS ضرایب استاندارد VIP³ منعکس‌کننده اثر تک تک xها بر روی yها می‌باشد و به‌آسانی در نمودار PLS قابل مشاهده است و به این ترتیب مؤثرترین متغیرها و درجه اهمیت آن‌ها به‌سرعت شناسایی و تشخیص داده می‌شوند (Tenenhaus et al., 2005). آزمون رگرسیون حداقل مربعات جزئی می‌تواند به‌خوبی ویژگی‌های حسی بافت را به‌وسیله اندازه‌گیری‌های دستگاهی بافت پیش‌بینی کند و ارتباط بین ماتریس‌های حسی و فیزیکی را مورد آنالیز قرار دهد.

نتایج و بحث

مدل‌سازی

معادلات به‌دست آمده برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته با استفاده از طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند برای متغیرهای معنی‌دار در جدول 3 آمده است. برای بررسی صحت مدل از ضرایب تبیین (R^2)

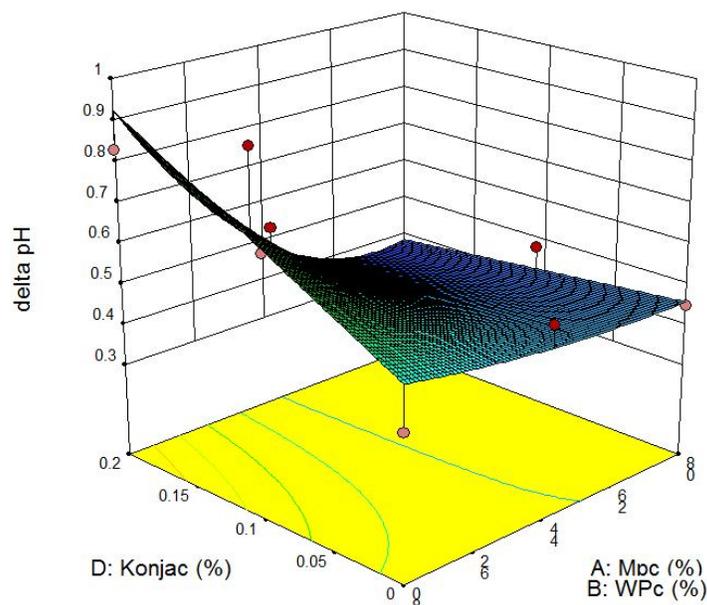
- 1 Principal Components Analysis
- 2 Partial Least Squares
- 3 Variable Importance in Projection

جدول 3- معادلات به دست آمده برای پیش بینی متغیرهای وابسته (ویژگی‌های حسی، فیزیکی و شیمیایی و رئولوژیکی) با استفاده از طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند

متغیرهای وابسته	معادله	F Value	p > F	ضریب تبیین	ضریب تغییرات	عدم برازش
تغییرات pH	$y_1 = 408/08 - 133/74A - 155/17B - 173/100C + 2796/32AB - 110/00AC - 824/28BC$	5/83	0/047	0/74	14/06	n.s
آب اندازی	$y_2 = 121/01 - 80/89A + 6/54B - 0/44C + 734/122AB + 439/71AC - 1333/41BC$	5/01	0/0072	0/70	13/93	n.s
سختی	$y_1 = 342/99 + 575/46A + 40/81B + 627/67C + 1860/87AB - 7600/20AC + 1388/77BC$	11/13	0/0006	0/86	10/59	n.s
پیوستگی	$y_2 = 63/79 + 146/49A + 63/58B + 317/19C + 278/93AB - 1628/57AC - 431/71BC$	6/39	0/0026	0/74	14/22	n.s
چسبندگی	$y_3 = 162/38 + 1124/34A + 516/73B + 2328/31C + 16/97AB - 10574AC - 3384BC$	4/64	0/0098	0/68	20/15	n.s
نیروی چسبندگی	$y_4 = 17/95 - 26/36A - 41/24B - 84/51C + 77/02AB + 87/00AC + 190/42BC$	6/49	0/0024	0/74	???	n.s
G'LVE (Pa)	$y_1 = 431/27 - 252/27A - 22/64B + 1179/43C + 1362/85AB - 3284/28AC - 1932/85BC$	23/78	0/0001	0/91	3/48	n.s
G''LVE (Pa)	$y_2 = 101/56 - 5/14A + 23/12B + 189/35C + 97/06AB - 404/85AC - 661/14BC$	0/334	0/0072	0/70	13/93	n.s
γ_c (%)	$y_3 = 369/08 + 522/41A + 378/30B + 136C - 724/24AB - 3823AC - 5830BC$	4/04	0/0166	0/65	13/95	n.s
τ_y (Pa)	$y_4 = 16/89 - 33/07A - 35/08B - 84/80C + 80/44AB + 107/85AC + 175BC$	6/14	0/0038	0/75	41	n.s
τ_f (Pa)	$y_2 = 101/56 - 5/14A + 23/12B + 189/35C + 97/06AB - 404/85AC - 661/14BC$	0/334	0/0072	0/70	13/93	n.s
$\tan \delta$ LVE	$y_5 = 2/33 + 0/91A + 2/08B + 0/80C$	5/51	0/042	0/65	13/64	n.s
Gf (Pa)	$y_6 = 2/97 - 1/67A + 0/98B + 6/60C + 4/08AB - 35/71AC + 7/14BC$	4/63	0/0099	0/68	8/08	n.s
امتیاز سفتی	$y_1 = 342/99 + 575/46A + 40/81B + 627/67C + 1860/87AB - 7600/20AC + 1388/77BC$	11/13	0/0006	0/86	10/59	n.s
امتیاز چسبندگی	$y_2 = 63/79 + 146/49A + 63/58B + 317/19C + 278/93AB - 1628/57AC - 431/71BC$	6/39	0/0026	0/74	14/22	n.s
امتیاز ذوب شوندگی	$y_3 = 1/75A - 474/96B + 1323/77AB - 2404/41C + 2397/05BC$	4/64	0/001	0/99	1/21	n.s
امتیاز مزه ترش	$y_3 = 162/38 + 1124/34A + 516/73B + 2328/31C + 16/97AB - 10574AC - 3384BC$	4/64	0/0098	0/68	20/15	n.s
پذیرش کلی	$y_3 = 162/38 + 1124/34A + 516/73B + 2328/31C + 16/97AB - 10574AC - 3384BC$	4/64	0/0098	0/68	20/15	n.s

پنیر با تحریک فعالیت باکتری‌های آغازگر سرعت اسیدسازی را طی تخمیر افزایش می‌دهد. با این حال Baig و همکاران (1996) ملاحظه کردند که افزودن مواد جامد آب پنیر با آن که موجب تحریک و رشد باکتری‌های آغازگر شد ولی تعداد باکتری‌ها کاهش یافت. ظرفیت بافری ماست، گسترش اسیدیته و pH را تحت تأثیر قرار می‌دهد بدین ترتیب که هرچه شاخص یاد شده بالاتر باشد pH فراورده دیرتر افت می‌کند اما اسیدیته با شدت بیشتر افزایش می‌یابد که البته این ظرفیت بافری به مقدار پروتئین‌ها به‌ویژه کازئین، نمک‌های فسفات، لاکتات و سترات موجود در شیر بستگی دارد (Tamime, 1993).

همان‌طور که در شکل 1 مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک تغییرات pH نمونه‌ها پس از 5 روز افزایش یافت در حالی که شدت این تغییرات در نمونه‌های حاوی cwp بالاتر بیشتر بود. همچنین طبق شکل 1 مشاهده می‌شود که در مقادیر کم صمغ کنجاک، با افزایش میزان mpc و کاهش cwp تغییرات pH اندکی کاهش می‌یابد این در حالی است که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp تغییرات pH نمونه‌ها با شدت بیشتری کاهش نشان داد. علت این پدیده در دسترس قرار گرفتن مقادیر بیشتر اسیدهای آمینه و پپتیدهای با وزن مولکولی پایین است. Tamim و همکاران (1999) بیان کردند که بخش از ته آب

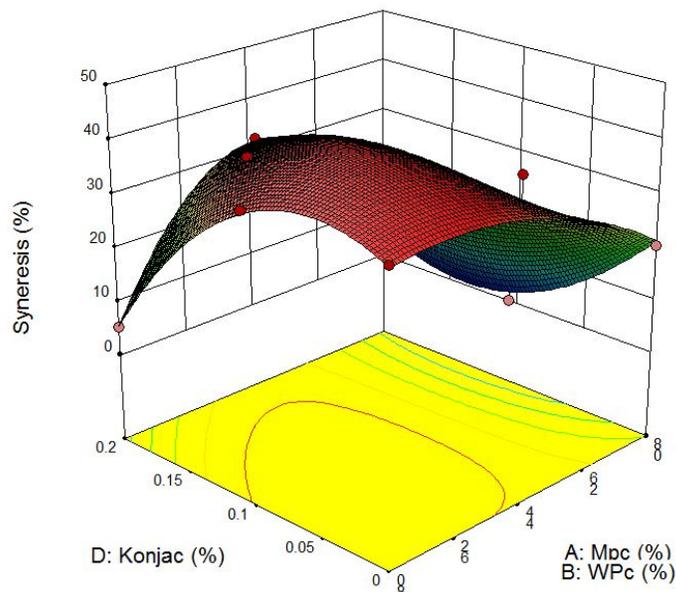


شکل 1- تأثیر mpc, cwp و صمغ کنجاک بر روی تغییرات pH نمونه‌های ماست چکیده

آب اندازی

آب‌اندازی به شبکه ژلی ناپایدار و نوآرایی‌های بیش از حد شبکه ژلی ضعیف مربوط می‌باشد (Desmazeaud *et al.*, 1972). نتایج نشان داد که آب‌اندازی نمونه‌های مورد آزمون بین 5/3 تا 37 درصد متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Quadratic x Linear)، اثرات خطی mpc و cwp و اثرات متقابل

آب‌اندازی به شبکه ژلی ناپایدار و نوآرایی‌های بیش از حد شبکه ژلی ضعیف مربوط می‌باشد (Desmazeaud *et al.*, 1972). نتایج نشان داد که آب‌اندازی نمونه‌های مورد آزمون بین 5/3 تا 37 درصد متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Quadratic x Linear)، اثرات خطی mpc و cwp و اثرات متقابل



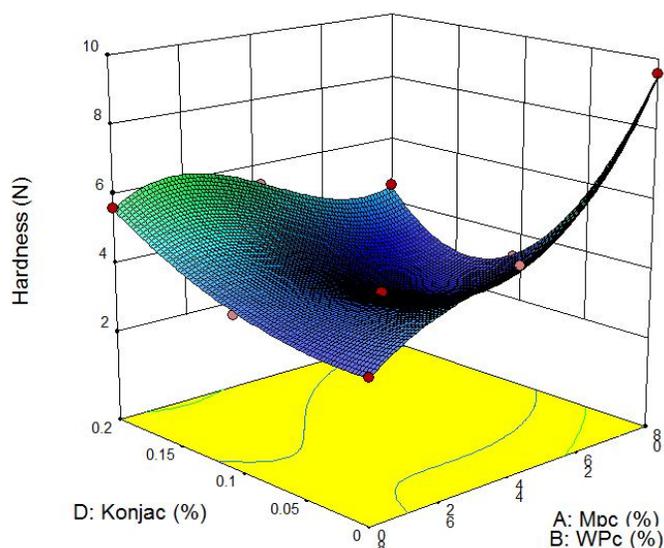
شکل 2- تأثیر mpc, cwp و صمغ کنجاک بر روی آب‌اندازی نمونه‌های ماست چکیده

پایین‌تر ژلی سست با قابلیت آب‌اندازی بالا تولید می‌کنند (Varnam *et al.*, 1994)

ویژگی‌های رئولوژیکی تغییر شکل وسیع ماست چکیده سختی

نتایج تحقیق نشان داد که سختی نمونه‌های مورد آزمون بین 3/25 تا 9/58 نیوتن قرار داشت. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Quadratic x Linear)، اثرات متقابل mpc-kg و cwp-kg و cwp-mpc-kg در سطح 99 درصد بر روی سختی نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل 3 تأثیر mpc و cwp و صمغ کنجاک بر روی سختی نمونه‌های ماست چکیده را با توجه به معادله 1 جدول 3 نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالایی cwp هستند آب‌اندازی نمونه‌ها به شدت کاهش می‌یابد و با افزایش صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که حاوی مقادیر بالایی mpc هستند با شدت کمتری آب‌اندازی نمونه‌ها کم می‌شود. همچنین طبق شکل 2، در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp آب‌اندازی نمونه‌ها کاهش یافت در حالی که آب‌اندازی در نمونه‌های حاوی بالای مقادیر صمغ با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp تا میزان 4 درصد افزایش و سپس کاهش نشان داد. نسبت کازئین به پروتئین آب پنیر 3/1-3/4 برای تشکیل ژلی با خواص بافتی مطلوب مناسب است. نسبت‌های بالاتر، ژلی خشک و ضخیم و نسبت‌های



شکل 3- تأثیر mpc و cwp و صمغ کنجاک بر روی سختی نمونه‌های ماست چکیده

چربی، تیمار حرارتی، نوع کشت، دمای گرمخانه‌گذاری و درجه حرارت نمونه در زمان اندازه‌گیری سختی می‌باشد (Walstra, 2013). بر اساس پژوهش‌های انجام شده، وقتی شیر با استفاده از cwp و یا کازئینات غنی می‌شود نسبت به وقتی که تنها از شیر خشک برای غنی‌سازی استفاده شده است، ماستی با سختی بیشتر تولید می‌شود (Sodini *et al.*, 2005). در واقع پروتئین سرم دنا توره شده طی فرایند حرارتی که به سطح میسل‌های کازئین متصل شده‌اند، یکی از فاکتورهای اساسی در افزایش سختی ژل‌های حرارت دیده است (Lucey *et al.*, 1998). به عقیده Großhable و همکاران (2011) پیوندهای اصلی در ژل‌های کازئین و کازئین-پروتئین سرم، سختی ژل را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در این زمینه پیوندهای کوالان

همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک سختی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌دار به‌ویژه برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش پیدا کرد. همچنین طبق همین شکل، در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp سختی نمونه‌ها افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان سختی در نمونه‌های حاوی بالاترین میزان mpc مشاهده گردید. این در حالی است که سختی نمونه‌ها در مقادیر بالای صمغ کنجاک، افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp ابتدا کمی افزایش و سپس کاهش پیدا کرد. این امر نشان دهنده نقش بیشتر صمغ کنجاک بر cwp نسبت به mpc می‌باشد. به‌طور کلی مقدار سختی اندازه‌گیری شده در ماست وابسته به عوامل مختلفی از جمله مقدار کازئین شیر، میزان

ساختار فشرده و تنومند حاوی اجزای کازئین، افزایش نرمی و کاهش آباندازی می‌گردد.

حالت فنری

حالت فنری نمونه‌های مورد آزمون بین 3/77 تا 14/39 میلی‌متر متغیر بود. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ کدام از اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ناشی از افزودن mpc و cwp و صمغ کنجاک بر روی حالت فنری نمونه‌ها در معنی‌دار نبود ($P > 0/05$).

چسبندگی و نیروی چسبندگی

نتایج تحقیق نشان داد که چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌های مورد آزمون به ترتیب بین 0/0003 تا 0/0225 نیوتن متر و 0/592 تا 4/609 نیوتن متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب، هر دو پاسخ چسبندگی و نیروی چسبندگی (Cubic \times Quadratic) اثرات خطی mpc و cwp و اثرات متقابل mpc -kg و cwp -kg در سطح 99 درصد بر روی چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها معنی‌دار بود. این درحالی است که اثر متقابل cwp -kg هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر روی چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها نداشت. نتایج پژوهش نشان داد که تغییرات چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها با تغییرات mpc ، cwp و صمغ کنجاک تقریباً مشابه یکدیگر است به طوری که با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالایی cwp هستند حالات چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها افزایش یافت در حالی که با افزایش صمغ کنجاک تا حدود مقادیر 0/15 درصد در نمونه‌هایی که حاوی مقادیر بالایی mpc بودند منجر به کاهش چسبندگی و نیروی چسبندگی شد. با افزایش بیشتر صمغ کنجاک از حدود مقادیر 0/15 درصد تا 0/2 درصد این روند افزایشی گردید.

نیروی چسبندگی، نیروی لازم جهت غلبه بر نیروی جاذبه سطحی بین ذرات است لذا هرچه ساختار ژلی و شبکه پروتئینی نمونه‌های ماست از سفتی بیشتری برخوردار باشد، نیروی چسبندگی نیز بیشتر خواهد بود که نتایج حاصل از سختی نیز آن را تأیید می‌کند. همچنین چسبندگی نیز مانند شاخص سفتی تحت تأثیر شبکه سه بعدی ضعیف ایجاد شده توسط صمغ و تغییرات پروتئینی در مقایسه با شبکه سه بعدی پروتئین‌های شیر قرار می‌گیرد (معتدزادگان و همکاران 1392). Gauche و همکاران (2009) با بررسی تأثیر افزودن آب پنیر مایع به ماست دریافتند که چسبندگی در نمونه‌های حاوی مقدار بیشتر آب پنیر مایع کمتر بود. کاستیلا و همکاران (2004) نشان دادند که بافت ماست‌های حاوی کنسانتره ی آب پنیر و مخلوط کنسانتره و میکروذرات آب پنیر مشابه ماست‌های با چربی معمولی بود، در حالی که ماست‌های حاوی میکروذرات آب پنیر کشش و نرمی

دارای تأثیر بیشتری بر سختی ژل نسبت به پیوندهای غیر کووالان هستند. به احتمال زیاد خاصیت سختی کمتر نمونه‌های غنی شده با cwp و mpc در غلظت‌های مختلف صمغ به انرژی برهمکنش بین ذرات نسبت داده می‌شود. همچنین در حجم‌های بالای فراکسیون پروتئین سرم می‌تواند احتمال برهمکنش‌های شدید ذرات بین پروتئین سرم دنا توره شده و میسل‌های کازئین در شیر مصرفی در تهیه ماست طی حرارت‌دهی را افزایش دهد و موجب افزایش تعداد پیوندهای کووالان دی‌سولفید در ساختمان ژل طی تشکیل شبکه گردد (Krzeminski et al., 2011).

افزودن صمغ کنجاک نیز به نمونه‌های ماست، به علت قرارگیری پلی‌ساکاریدهای تشکیل‌دهنده هیدروکلوئید در میان میسل‌های کازئین، موجب ایجاد تداخل در تشکیل شبکه سه بعدی پروتئین شده که به نظر می‌رسد این تداخل با تغییرات نوع پروتئین متفاوت خواهد بود. در نتیجه افزودن صمغ کنجاک در مقادیر بالای mpc منجر به کاهش سختی و در مقادیر بالای cwp منجر به افزایش سختی می‌گردد. افزایش غلظت صمغ با افزایش فعل و انفعال هیدروکلوئید - پروتئین و تغییر در آرایش شبکه ژلی، منجر به ایجاد تغییرات در بافت خواهد شد. افزایش سفتی ماست در طول زمان نیز، به تغییر آرایش و اتصال پروتئین‌ها ارتباط دارد (Aziznia et al., 2008).

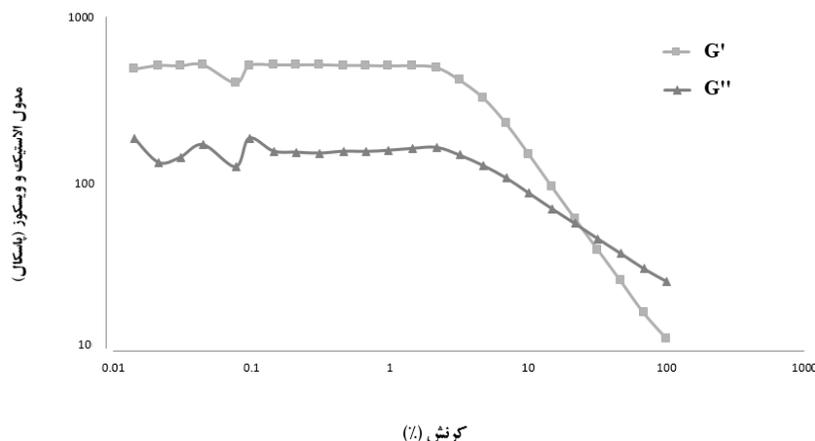
پیوستگی

نتایج تحقیق نشان داد که پیوستگی نمونه‌های مورد آزمون بین 0/15 تا 0/25 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Cubic \times Quadratic)، تنها اثرات خطی mpc و cwp در سطح 95 درصد و اثر متقابل cwp -kg در سطح 99 درصد بر روی پیوستگی نمونه‌ها معنی‌دار بود. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که در مقادیر کم صمغ کنجاک با تغییرات میزان mpc و cwp پیوستگی نمونه‌ها چندان تغییر پیدا نکرد در حالی که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp پیوستگی نمونه‌ها کاهش یافت و با توجه به این که فقط اثر متقابل cwp -kg بر پیوستگی نمونه‌ها معنی‌دار بود می‌توان به نقش مؤثر اثر متقابل cwp و صمغ کنجاک بر پیوستگی نمونه‌ها پی برد. شاخص پیوستگی تحت عنوان قدرت پیوندهای داخلی غذاها تعریف می‌شود و قدرت کششی و پیوستگی غذاها را نشان می‌دهد (Park, 2007). مطالعات انجام شده توسط Ozer و همکاران (1999) با میکروسکوپ الکترونی نشان داد که نمونه‌های حاوی مقادیر بالاتر پروتئین ساختارهای فشرده‌تری دارند. عزیزنیا و همکاران (2007) تأثیر کنسانتره آب پنیر در غلظت‌های مختلف را به عنوان یک جایگزین چربی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و ساختاری ماست بدون چربی مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که افزایش کنسانتره آب پنیر موجب ایجاد یک

ویژگی‌های رئولوژیکی تغییر شکل کوچک ماست چکیده (آزمون کرنش متغیر)

شکل 4 آزمون کرنش متغیر را برای تیمار شماره 1 (جدول 3) در دمای 20°C نشان می‌دهد.

کمتر اما چسبندگی بالاتری داشتند. براساس نتایج پژوهش هررو و همکاران (2006)، افزودن cwp به شیر بز منجر به افزایش معنی دار چسبندگی شد.



شکل 4- نمودار مدول الاستیک (G') و مدول ویسکوز (G'') در برابر کرنش تیمار شماره 1 (حاوی 6 درصد mpc، 2 درصد cwp و 0/05 درصد صمغ کنجاک) (در فرکانس 1 هرتز و در دمای 20°C)

جدول 4- پارامترهای حاصل از آزمون کرنش متغیر نمونه‌های ماست چکیده (دمای 20°C و فرکانس یک هرتز)

تیمار	G'_{LVE} (Pa)	G''_{LVE} (Pa)	γ_c (%)	τ_y (Pa)	$\tan \delta_{LVE}$	τ_f (Pa)	G_f (Pa)
1	514	164	0/3143	0/4036	2/04	18/57	60/03
2	56/57	26/42	0/4557	0/2845	3/47	8/64	19/06
3	525/2	152/9	0/4224	2/31	3/43	11/54	14/16
4	586/6	168/7	0/4204	2/566	2/91	18/57	40/83
5	485/6	133/9	0/9865	4/969	3/09	17/89	84/64
6	586/6	168/7	0/4204	2/566	3/02	18/57	40/83
7	122/6	38/11	0/3143	0/4036	3/13	5/39	8/09
8	171/8	49/99	0/3103	0/5552	3/62	6/65	14/5
9	750/1	242/2	0/236	1	3/43	23/11	37/81
10	245/6	84/18	1/321	3/429	3/43	12/9	66/63
11	308/2	101/8	1/325	4/302	3/21	15/49	25/58
12	22/54	11/01	2/344	0/5879	2/14	8/54	10/7
13	525/2	152/9	0/4224	2/31	3/47	11/54	14/16
14	750/1	242/2	0/236	1/86	3/09	23/11	37/81

بزرگ‌تر از مدول ویسکوز است که مبین رفتار جامدگونه⁴ می باشد. ناحیه دوم، ناحیه غیرخطی است که در آن G' و G'' با افزایش کرنش

دو ناحیه مختلف در شکل 4 قابل مشاهده است. ناحیه اول شامل ناحیه ویسکوالاستیک خطی (LVE) می‌باشد که در آن مدول الاستیک (G') و ویسکوز (G'') تقریباً ثابت بوده اما مدول الاستیک

نشان داد که γ_c و τ_y نمونه‌های مورد آزمون به ترتیب بین 0/23 تا 2/34 درصد و 0/28 تا 4/96 پاسکال متغیر بود. Clark و همکاران (1987) گزارش کردند که ناحیه خطی در محلول‌های رقیق کمتر از محلول‌های غلیظ است و محلول‌های غلیظ کمتر از ژل‌ها می‌باشد. در حالی که این مقدار در ژل‌های کلونیدی به ندرت بیشتر از 0/1 درصد است. همچنین ناحیه خطی بزرگتری برابر با 1% و یا بیشتر برای ژل‌های بیوپلیمری طبیعی وجود دارد. Heldman و همکاران (2007) گزارش کردند که LVE برای بیشتر مواد غذایی جامد نرم در دامنه 0/1-2 درصد است. از این رو، با در نظر گرفتن کرنش بحرانی، نمونه‌های ماست چکیده ژل نسبتاً ضعیفی تولید نمود. Ozer و همکاران (1999) نشان دادند که کرنش بحرانی ویسکوالاستیک برای ماست چکیده (لبنه) 0/02 درصد بود. Paulsson و همکاران (1990) دامنه کرنش 0/01 درصد در فرکانس 1 هرتز را به عنوان کرنش بحرانی جهت بررسی تشکیل ژل حرارتی بتالاکتوگلوبولین در نظر گرفتند. بیشتر تحقیقات بر روی محصولات لبنی ژل مانند با استفاده از دامنه کرنش کمتر از 0/05 درصد در فرکانس 1 هرتز انجام شده است از این رو در این تحقیق نیز کرنش 0/01 درصد در آزمون فرکانس متغیر در نظر گرفته شد تا کاملاً در ناحیه خطی قرار قرار داشته باشد و ساختار ژل در طی اعمال کرنش دست نخورده باقی بماند.

بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل مقاطع منتخب (Cubic \times Quadratic) برای هر دو پاسخ γ_c و τ_y اثرات mpc-kg و cwp-kg در سطح 95 درصد بر روی γ_c و τ_y نمونه‌ها معنی‌دار بود این در حالی است که علاوه بر اثرات فوق اثر متقابل cwp-mpc نیز تنها بر روی γ_c نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری نشان داد. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که در مقادیر بالای cwp و مقادیر پایین mpc با افزایش میزان صمغ کنجاک γ_c نمونه‌ها افزایش یافت. احتمالاً افزایش صمغ کنجاک باعث تقویت ژل ماست گردیده است. در حقیقت افزایش کرنش بحرانی نشان دهنده زمان بیشتر تعاملات ساختار پلیمری نمونه‌ها است و در نتیجه با گذشت زمان پیوندهایی جدید جایگزین پیوندهایی می‌شود که با اعمال کرنش خارجی در آزمون تنش برشی با دامنه نوسانی کم شکسته شده‌اند. Steff (1996) گزارش کرد که ژل‌های قوی در مقایسه با انواع ضعیف زمان بیشتری را در حالت خطی باقی می‌مانند. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش، در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp، τ_y نمونه‌ها افزایش یافت در حالی که τ_y در نمونه‌های حاوی بالای مقادیر صمغ با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp کاهش پیدا کرد. Kuecukcetin (2008) نشان داد که تنش بحرانی ماست همزده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت پروتئین‌های سرم به کازئین قرار گرفت.

شروع به کاهش نموده و پس از نقطه تلاقی⁵ (نقطه جریان) G'' بزرگ‌تر از G' شده و نمونه‌ها رفتار مایع‌گونه⁶ نشان دادند. در این آزمون، تنش یا کرنش متناظر با شروع رفتار غیرخطی و کاهش سریع مدول الاستیک را کرنش بحرانی (γ_c) یا تنش بحرانی (τ_y) می‌نامند. در نمونه 1، با افزایش تنش پیوندهایی که شبکه را کنار هم نگه می‌دارد شروع به پاره شدن می‌کند، یعنی در یک میزان بحرانی تنش (τ_y) ساختار شبکه به هم می‌خورد که در طی آن G' با شیب تندی کم می‌شود (Pai et al., 2002).

پارامترهای حاصل از آزمون کرنش متغیر شامل مدول الاستیک در ناحیه خطی (G'_{LVE})، مدول افت در ناحیه خطی (G''_{LVE})، کرنش بحرانی (γ_c)، تنش تسلیم (τ_y)، تانژانت اتلاف در ناحیه خطی ($Tan \delta_{LVE}$)، تنش تسلیم در نقطه جریان (τ_f) و مدول الاستیک در نقطه جریان ($G'' = G' = G''_f$) نمونه‌های ماست چکیده در دمای 20°C و فرکانس یک هرتز در جدول 4 نشان داده شده است.

مدول الاستیک و ویسکوز در ناحیه خطی (G'_{LVE} و G''_{LVE})

نتایج تحقیق نشان داد که G'_{LVE} و G''_{LVE} نمونه‌های مورد آزمون به ترتیب بین 22/54 تا 750/1 و 11/01 تا 242/1 پاسکال متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل مقاطع منتخب (Cubic \times Quadratic)، برای هر دو پاسخ G'_{LVE} و G''_{LVE} اثرات متقابل mpc-kg، cwp-kg و cwp-mpc-kg در سطح 99 درصد بر روی G'_{LVE} و G''_{LVE} نمونه‌ها معنی‌دار بود در حالی که علاوه بر اثرات فوق اثر متقابل cwp-mpc نیز تنها بر روی G''_{LVE} نمونه‌ها معنی‌دار بود. نتایج پژوهش نشان داد که روند تغییرات G'_{LVE} و G''_{LVE} نمونه‌ها با تغییرات cwp، mpc و صمغ کنجاک تقریباً مشابه یکدیگر است به طوری که با افزایش میزان صمغ کنجاک G'_{LVE} و G''_{LVE} نمونه‌ها افزایش یافت. در آزمون‌های نوسانی مدول G' اساساً به پیوندهای پروتئین-پروتئین وابسته است و مدول G'' حاکی از جاذبه‌ها و میان‌کنش‌های ضعیف‌تر است. با افزایش میزان کازئین مدول G' و نقطه تسلیم ژل افزایش δ و $\tan \delta$ در آزمون نوسانی کاهش پیدا کرد. Ozer و همکاران (1999) نیز نشان دادند که حداقل درصد پروتئین شیر که به تشکیل ژل می‌انجامد، 3% است.

تنش و کرنش بحرانی

تعیین کرنش متناظر با پایان محدوده خطی ویسکوالاستیک، معیاری از میزان قدرت ساختمانی یا قابلیت حفظ شکل به تنش‌های مکانیکی وارده به محصول هنگام حمل و نقل می‌باشد. نتایج تحقیق

5 Crossover point

6 Liquid-like

تانژانت اتلاف⁷

تانژانت اتلاف (δ) نمونه‌ها بین 0/28 و 0/53 متغیر بود. این مقادیر با توجه به این که کمتر از یک و بزرگ‌تر از 0/1 بودند نشان از حضور ساختار الاستیک در ژل ضعیف بیوپلیمری داشتند. همچنین از آنجاییکه هیچ‌یک از نمونه‌ها ژل واقعی نبودند، درگیری رشته‌ها و ارتباطات ماکرومولکول‌ها موقتی بوده و می‌توانند در درجه برش‌های بالا از هم گسیخته شوند (Naji et al., 2017). نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ کدام از اثرات خطی، درجه دوم و متقابل افزودن کربوکسی متیل سلولز، صمغ کنجاک و صمغ دانه مرو بر روی تنش تسلیم نمونه‌های ماست چکیده معنی‌دار نبود که مشخص‌کننده یکسان بودن طبیعت و نوع نیروها و برهم‌کنش بین نمونه‌ها بود (Ozer et al., 1999).

تنش تسلیم و مدول الاستیک در نقطه جریان (G_f و τ_f)

نتایج تحقیق نشان داد که G_f و τ_f نمونه‌های مورد آزمون به ترتیب بین 5/39 تا 23/11 و 8/09 تا 84/64 پاسکال متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Cubic \times Quadratic) اثر متقابل G_f و τ_f برای هر دو پاسخ G_f و τ_f اثر متقابل mpc-kg در سطح 95 بر روی G_f و τ_f نمونه‌ها معنی‌دار بود درحالی‌که علاوه بر اثرات فوق اثر متقابل cwp - mpc تنها بر روی τ_f و اثر متقابل cwp - kg تنها بر روی G_f نمونه‌ها معنی‌دار بود.

همچنین بر اساس نتایج روند تغییرات G_f و τ_f نمونه‌ها با تغییرات mpc، cwp و صمغ کنجاک تقریباً مشابه یکدیگر است به طوری که با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالای cwp بودند، G_f و τ_f افزایش یافت در حالی که در نمونه‌های دارای مقادیر بالای mpc منجر به کاهش G_f و τ_f نمونه‌ها گردید. این تغییرات به علت ایجاد تغییرات در اتصالات پروتئین - پروتئین و همچنین به علت افزایش ظرفیت اتصال به آب صمغ کنجاک (خاصیت جذب آب بالای آن) که سبب کاهش جریان‌پذیری و افزایش مقاومت نمونه در برابر جاری شدن می‌شوند، بود (Tamime et al., 1985).

ارزیابی حسی

امتیاز سفتی

نتایج پژوهش نشان داد که امتیاز سفتی نمونه‌های مورد آزمون بین 1/83 تا 4/2 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل اثرات mpc-kg و cwp - kg و cwp - mpc-kg در سطح 95 درصد بر روی امتیاز سفتی نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری داشت در حالی که اثرات خطی mpc و cwp بر روی امتیاز سفتی نمونه‌ها معنی‌دار نبود. همچنین نتایج نشان داد که در مقادیر کم صمغ کنجاک با تغییرات

میزان mpc و cwp امتیاز سفتی نمونه‌ها افزایش یافت. این در حالی است که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp امتیاز سفتی نمونه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داد. از آنجایی که یکی از خصوصیات عملکردی cwp ایجاد ژل است با افزایش نسبت پروتئین‌های سرم به کازئین، خصوصیات ژل ایجاد شده تغییر خواهد یافت. صمغ کنجاک نیز جذب آب قابل توجهی دارد و تحقیقات نیز نشان داده است که که 1 گرم کنجاک می‌تواند 50-100 گرم آب را جذب نماید (Koroskenyi et al., 2001). Lucey و همکاران (1998) نشان دادند که افزایش پروتئین‌های سرم در ماست منجر به ایجاد بافت دانه‌ای در آن می‌شود.

امتیاز چسبندگی

نتایج پژوهش نشان داد که امتیاز چسبندگی نمونه‌های مورد آزمون بین 2/42 تا 3/81 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل منتخب متقاطع (Cubic \times Quadratic)، اثرات cwp - mpc و mpc-kg و cwp - kg و cwp - mpc-kg همچون امتیاز سفتی در سطح 95 درصد بر روی امتیاز چسبندگی نمونه‌ها نیز معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالایی cwp هستند امتیاز چسبندگی افزایش یافت در حالی که با افزایش صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که حاوی مقادیر بالایی mpc هستند امتیاز چسبندگی کاهش پیدا کرد. Agob و همکاران (2007) نشان دادند که به طور میانگین هیدروکلوئید حاصل از کنجاک در غذاهای معمولی به میزان 0/1 تا 1 درصد به منجر به افزایش چسبندگی می‌شود.

امتیاز ذوب شوندگی

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌های مورد آزمون بین 2/16 تا 3/22 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل منتخب متقاطع (Quadratic \times Linear) اثرات mpc-kg و cwp - kg و cwp - mpc-kg در سطح 95 درصد بر روی امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌ها اثر معنی‌داری داشت. همچنین مشاهده شد که در مقادیر کم صمغ کنجاک با تغییرات میزان mpc و cwp امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌ها افزایش می‌یابد در حالی که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌ها تقریباً کاهش یافت که تغییرات امتیاز ذوب شوندگی می‌تواند ناشی از شدت پایداری شبکه ژلی به علت تغییرات میزان mpc و cwp در مقادیر مختلف صمغ کنجاک باشد. Lucey (2009) نشان داد که ژل ماست‌های حاوی cwp شکننده بوده و در دهان سریع ذوب نمی‌شدند و احساس دهانی مطلوبی را نیز ایجاد نکردند.

پذیرش کلی

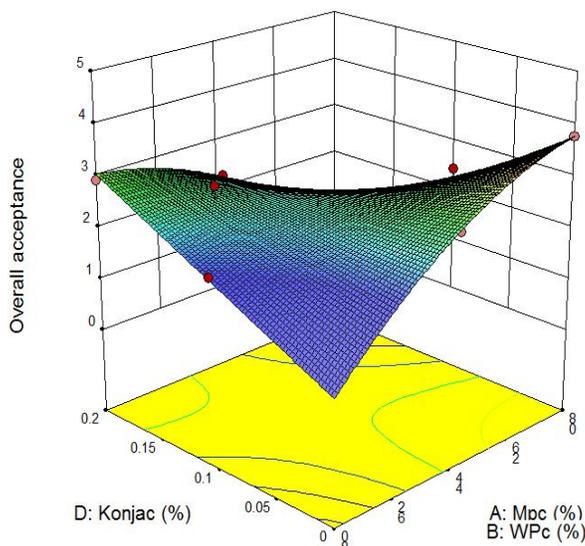
نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پذیرش کلی نمونه‌های مورد آزمون بین 1/94 تا 3/77 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل منتخب متقاطع (Quadratic x Linear) اثر خطی mpc و cwp و اثرات متقابل mpc - mpc - kg و cwp - mpc - kg و cwp - kg و اثرات متقابل mpc - mpc - kg در سطح 95 درصد بر روی پذیرش کلی نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل 5 تأثیر mpc, cwp و صمغ کنجاک بر روی پذیرش کلی نمونه‌های ماست چکیده را با توجه به معادله y_1 جدول 3 نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل 5 مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌های دارای مقادیر بالای cwp پذیرش کلی افزایش یافت ولی در نمونه‌های حاوی مقادیر بالای mpc، کاهش نشان داد. از طرفی در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش cwp پذیرش کلی نمونه‌ها افزایش پیدا کرد این در حالی است که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp پذیرش کلی نمونه‌ها کاهش یافت. Sugli و همکاران (2007) دریافتند که نسبت کازئین به پروتئین‌های سرم تا 0/7 در ماست‌های معمولی می‌تواند منجر به تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های حسی، بافت و احساس دهانی شود. آن‌ها همچنین عنوان کردند که افزودن کنسانتره پروتئین آب پنیر به ماست پذیرش کلی نمونه‌ها را کاهش داد. Agob و همکاران (2007) نیز نشان دادند استفاده از صمغ کنجاک در تشکیل ژل‌ها، احساس دهانی مشابه روغن یا خامه را ایجاد می‌نماید.

نتایج پژوهش نشان داد که امتیاز مزه ترش نمونه‌های مورد آزمون بین 1/55 تا 3/43 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل منتخب متقاطع (Cubic x Quadratic) اثر خطی mpc و cwp و اثرات متقابل mpc - mpc - kg و cwp - mpc - kg و cwp - kg و اثرات متقابل mpc - mpc - kg در سطح 95 درصد بر روی امتیاز مزه ترش نمونه‌ها معنی‌دار بود. همچنین مشاهده شد در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش cwp امتیاز مزه ترش نمونه‌ها افزایش می‌یابد در حالی که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp امتیاز مزه ترش تقریباً کاهش یافت. بر اساس بررسی‌های کاکوئی و همکاران (1386) جایگزین کردن wpc به جای شیر خشک هیچ‌گونه عطر و آرومای غیرطبیعی توسط ارزیاب‌ها اساس نشد که این نتایج را به دلیل بالا بردن دی‌استیل و اسیدیته نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های شاهد و نقش غالب‌تر اسیدیته نسبت به ترکیبات معطر بر اساس عطر و طعم دانسته‌اند.

امتیاز رنگ

امتیاز رنگ نمونه‌های مورد آزمون بین 3 تا 4/05 متغیر بود. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ‌کدام از اثرات خطی، درجه دوم و متقابل حضور mpc, cwp و صمغ کنجاک بر روی امتیاز رنگ نمونه‌ها معنی‌دار نبود.



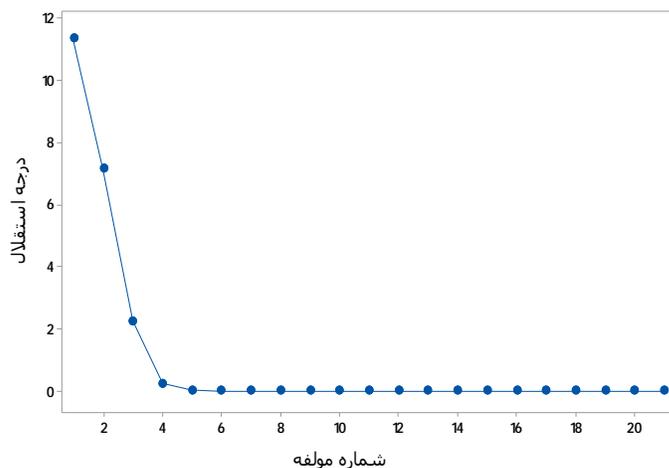
شکل 5- تأثیر mpc, cwp و صمغ کنجاک بر روی پذیرش کلی نمونه‌های ماست چکیده

می‌شود از مجموع 21 مؤلفه که با درجات استقلال متفاوت تعریف شده‌اند فقط دو مؤلفه دارای درجه استقلال بالا می‌باشند که به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در نظر گرفته شدند. بنابراین مؤلفه‌های اصلی PCA داده‌های مربوط به 20 نمونه ماست چکیده با دو مؤلفه اصلی به ترتیب 41/68% و 17/75% واریانس محاسبه شده‌اند.

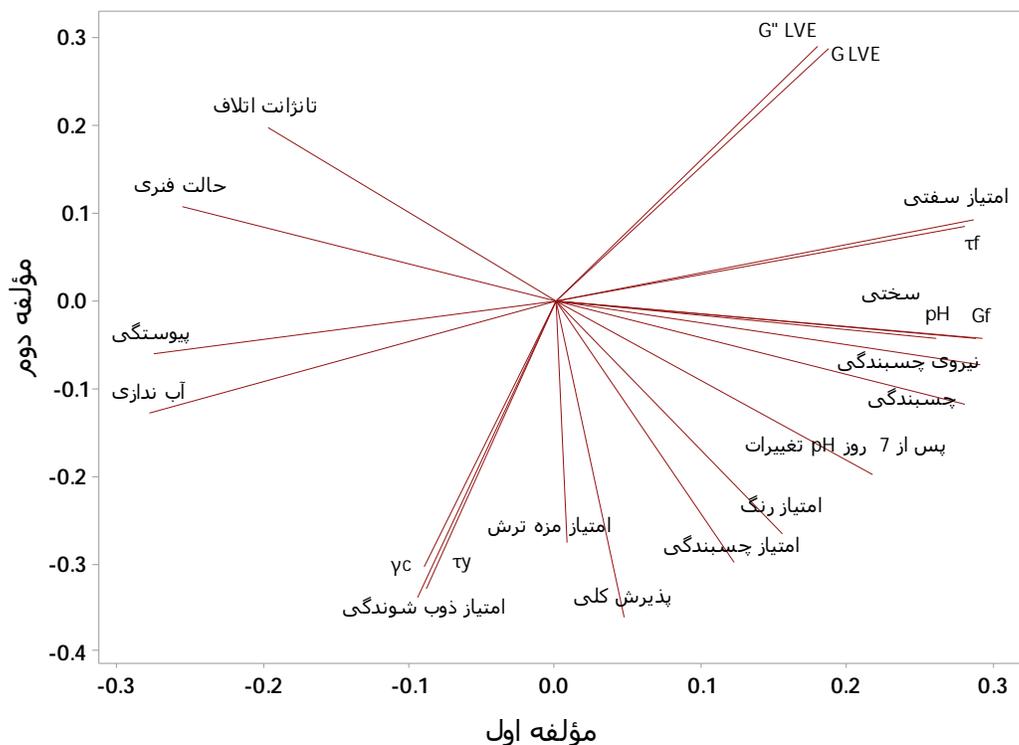
همبستگی بین خصوصیات حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

جهت بررسی رابطه بین پارامترهای حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نمونه‌های ماست چکیده، نمودار پراکنش آن‌ها در فضای PC مورد استفاده قرار گرفت. همان طور که در شکل 6 مشاهده



شکل 6- مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان تابعی از درجه استقلال نمونه‌های ماست چکیده



شکل 7- سهم ویژگی‌های دستگاهی و حسی اندازه‌گیری شده در دو مؤلفه اصلی اول و دوم

ضریب همبستگی میان داده‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی

ارتباط میان اندازه‌گیری‌های خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارزیابی حسی نمونه‌های ماست چکیده در جدول 5 نشان داده شده است. با توجه به داده‌های این جدول، بالاترین میزان ارتباط بین نیروی چسبندگی و امتیاز چسبندگی (یک ارتباط خطی مثبت قوی (0/915))، G'_{LVE} و امتیاز سفتی (یک ارتباط خطی مثبت قوی (0/863)) سختی و امتیاز سفتی (یک ارتباط خطی مثبت قوی (0/666)) و تانژانت اتلاف و امتیاز سفتی (یک ارتباط خطی مثبت قوی (0/887)) می‌باشد از طرفی همبستگی امتیاز مزه ترش با سختی (0/796-)، چسبندگی (0/845)، تنش تسلیم در نقطه جریان (0/695) و مدول الاستیک در نقطه جریان (0/888-) قابل توجه است بدین معنی است که افزایش امتیاز مزه ترش همراه است با کاهش سختی و مدول الاستیک در نقطه جریان و افزایش چسبندگی و تنش تسلیم در نقطه جریان. این داده‌ها نشان‌دهنده راهکاری مفید برای صنعت می‌باشد، چرا که استفاده از داده‌های دستگاهی در مقابل داده‌های حسی (نیازمند آموزش پانلیست و هزینه زیاد) از دقت بالاتری و با هزینه کمتری امکان‌پذیر است و می‌توان از این طریق میزان پذیرش مصرف کننده را تخمین زد (Gonzalez Vinas et al., 2007).

شکل 7 پراکنش پارامترهای حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی را بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم نشان می‌دهد. همانطور که از موقعیت صفات در فضای PC مشاهده می‌گردد، صفات دستگاهی اندازه‌گیری شده تنش و کرنش بحرانی در مجاورت هم و نزدیک به امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌ها قرار گرفته‌اند. همچنین تنش تسلیم در نقطه جریان و امتیاز سفتی صفت حسی، مدول الاستیک در نقطه جریان و سختی، تانژانت اتلاف و حالت فبری، مدول الاستیک و مدول ویسکوز در ناحیه خطی، پیوستگی و آب اندازی در مجاورت هم بودند. مجاورت صفات حاکی از آن است که صفات اندازه‌گیری شده توسط ارزیاب‌ها تقریباً معادل پارامترهایی است که توسط روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری شده‌اند. علاوه بر این، رابطه نزدیکی بین امتیاز مزه ترش با پذیرش کلی نمونه‌ها وجود داشت که این امر نشان می‌دهد که از بین صفات اندازه‌گیری شده، امتیاز مزه ترش دارای اهمیت بالاتری نسبت به سایر پارامترها برای پذیرش کلی مصرف‌کنندگان بود. Di Monaco و همکاران (2008) و Barangou و همکاران (2006) رابطه و همبستگی بالایی بین سختی بافت دستگاهی و سفتی بافت حسی را گزارش نمودند. از بررسی ارتباط بین پارامترهای بافتی و ویژگی‌های حسی می‌توان در جهت بهینه‌سازی کمی و دستگاهی خصوصیات بافتی مواد غذایی استفاده نمود.

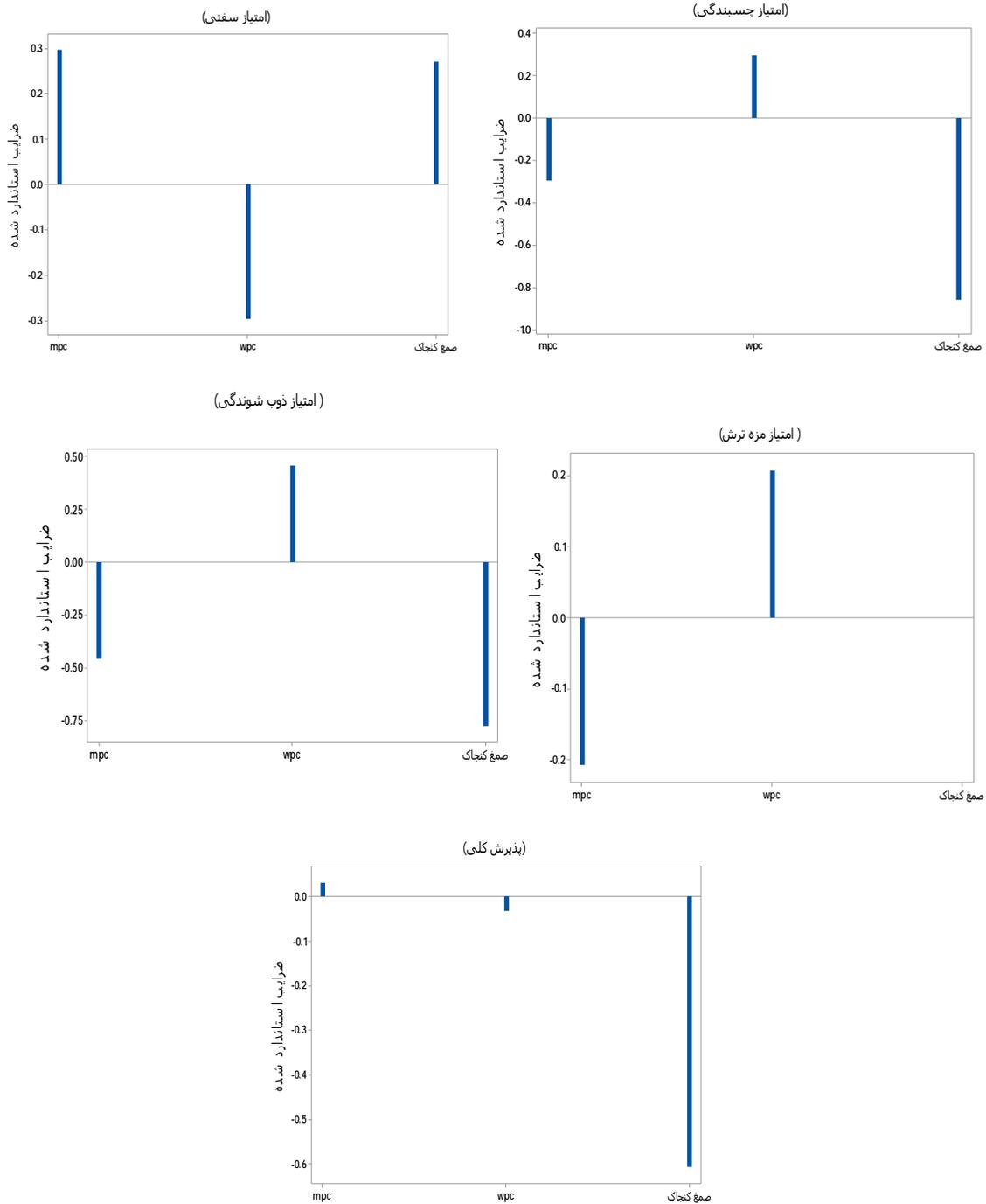
جدول 5- ضریب همبستگی میان داده‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی ماست چکیده

پذیرش کلی	امتیاز مزه ترش	امتیاز ذوب شوندگی	امتیاز چسبندگی	امتیاز سفتی	
-0/572	-0/126	0/016	-0/280	-0/153	تغییرات pH
0/023	-0/350	0/135	-0/018	0/097	آب اندازی
-0/229	-0/796	0/535	0/726	0/666	سختی
-0/004	-0/240	-0/038	0/101	-0/439	پیوستگی
-0/426	0/845	0/569	0/621	0/691	چسبندگی
-0/304	0/722	0/500	0/915	0/449	نیروی چسبندگی
-0/190	0/306	0/304	0/082	0/863	G'_{LVE} (Pa)
0/226	0/269	0/232	0/032	0/845	G''_{LVE} (Pa)
-0/002	0/119	-0/202	0/386	0/267	γ_e (%)
-0/430	-0/206	-0/111	-0/254	-0/103	τ_y (Pa)
0/337	0/695	0/451	0/549	0/556	τ_f (Pa)
-0/317	0/486	0/361	0/232	0/887	$\tan \delta_{LVE}$
-0/145	-0/888	0/520	0/538	-0/748	G_f (Pa)

پذیرش کلی با تک تک متغیرهای مستقل (cwp ampc و صمغ کنجاک) نمودار ضرایب استاندارد شده برای متغیرهای وابسته در رگرسیون در شکل 8 نشان داده شد. در این اشکال هرچه فاصله اثر به عدد یک نزدیک‌تر و یا بیشتر باشد اهمیت بالاتری پیدا می‌کند.

ضریب اهمیت در رگرسیون PLS

برای مشخص نمودن ضریب اهمیت و تأثیر متغیرهای وابسته مورد بررسی در این مطالعه، صفات حسی ماست چکیده مانند امتیاز سفتی، امتیاز چسبندگی، امتیاز ذوب شوندگی، امتیاز مزه ترش و



شکل 8- ضریب اهمیت تخمین زده شده به وسیله رگرسیون PLS بین متغیرهای مستقل با متغیرهای وابسته صفات حسی نمونه‌های ماست چکیده

مزه ترش دارای اهمیت منفی بود. wpc نیز بالاترین اهمیت مثبت را در خصوص امتیاز مزه ترش دارد ولی در مورد امتیاز بافت دارای

بنابراین همان‌طور که در شکل 8 مشاهده می‌گردد mpc بالاترین اهمیت مثبت را در خصوص امتیاز بافت داشت در حالی که بر امتیاز

کنجاک، LVE.G'، LVE.G''، γ_c ، τ_y ، τ_f و Gf نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش یافت. نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین خصوصیات حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نشان داد که صفات اندازه‌گیری شده توسط ارزیاب‌ها تقریباً معادل پارامترهایی هستند که توسط روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری شده‌اند. بنابراین نتایج آزمون‌های اندازه‌گیری دستگاهی در بیشتر موارد به‌خوبی می‌تواند صفات حسی ماست چکیده را پیش‌بینی کند. در نتیجه اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی ماست چکیده به‌روش دستگاهی می‌تواند جایگزین بخشی از روش ارزیابی حسی به‌منظور ارزیابی کیفیت آن گردد. علاوه بر این، رابطه نزدیکی بین امتیاز مزه ترش با پذیرش کلی نمونه‌ها وجود داشت که این امر نشان می‌دهد که از بین صفات اندازه‌گیری شده، امتیاز مزه ترش دارای اهمیت بالاتری نسبت به سایر پارامترها برای پذیرش کلی مصرف‌کنندگان می‌باشد.

اهمیت منفی است. صمغ کنجاک نیز اگر چه بر امتیاز بافت دارای اهمیت مثبت است ولی در مورد پذیرش کلی نمونه‌ها بالاترین اهمیت منفی را دارا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

لذا در این پژوهش اثر اجزاء مختلف فرمولاسیون ماست چکیده از جمله کنسانتره پروتئین شیر، پودر آب پنیر و صمغ کنجاک بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی ماست چکیده توسط روش‌های دستگاهی و ارزیابی حسی مورد پژوهش قرار گرفت. بر طبق نتایج حاصل از آزمون اکسترژن برگشتی - آنالیز پروفیل بافت، با افزایش میزان صمغ کنجاک، سختی، چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری به‌ویژه برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش یافت در حالی که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp پیوستگی نمونه‌ها کاهش نشان داد. بر اساس آزمون کرنش متغیر نیز با افزایش میزان صمغ

منابع

- کاکویی، ح.، احسانی، م.ر. و مظلومی، م.ت. 1386. بررسی تغییرات دی استیل و ویژگی‌های حسی ماست های غنی شده با کنسانتره پروتئینی آب پنیر در جایگزینی شیر خشک. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، 4 (2) 31-37.
- معمدزادگان، ع.، شهیدی، ا.، حسینی پرور، ه. و ابدالی، س. 1392. بررسی اثر نوع ژلاتین بر ویژگی‌های کاربردی ماست قالبی فاقد چربی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره 47، صفحات 221-230.
- ید ملت، م.، جوینده، ح. و حجتی، م. 1396. تأثیر صمغ فارسی و صمغ دانه بالنگو شیرازی بر ویژگیهای بافتی ماست همزده کم چرب. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، 27 (4)، 171 - 181.
- AOAC. 1995. Official Method of Analysis, 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Aziznia, S., Khosrowshahi, A., Madadlou, A., & Rahimi, J. 2008. Whey Protein Concentrate and Gum Tragacanth as Fat Replacers in Nonfat Yogurt: Chemical, Physical, and Microstructural Properties. *Journal of Dairy Science*, 91, 2545-2552.
- Baig, M.I. & Prasad, V. 1996. Effect of incorporation of cottage cheese whey solids and Bifidobacterium bifidum in freshly made yogurt. *Journal of Dairy Research*, 63, 467-473.
- Balaghi, S., Mohammadifar, M. A., Zargaraan, A., Ahmadi Gavlighi, H., & Mohammadi, M. 2011. Compositional analysis and rheological characterization of gum tragacanth exudates from six species of Iranian Astragalus. *Food Hydrocolloids*, 25, 1775-1784.
- Barangou, L.M., Drake M, Daubert, C.R., & Foegeding, E.A. 2006. Textural properties of agarose gels. Relation between rheological properties and sensory texture: *Food Hydrocolloids*, 20: 196-203.
- Bourne, M. C. 1978. Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62-66, 72.
- Chua, M., Chan, K., Hocking, T.J., Williams, P.A., Perry, C.J., & Baldwin, T.C. 2012. Methodologies for the extraction and analysis of konjac glucomannan from corms of *Amorphophallus konjac* K. Koch. *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 2202-2210.
- Clark, A.H., & Ross-Murphy, S.B. 1987. Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Advance Polymer Science*, 83, 57- 192.
- Dal Bello, L.H.A., & Vicirab, A.F.C. 2011. Optimization of a product performance using mixture experiments including process variables, *Journal of Applied Statistics*, 38(8), 1701-1715.
- Debon, J., Prudencio, E.S., & Petrus, J.C.C. 2010. Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. *Journal of Food Engineering*, 99, 128-135.
- Desmazeaud, M.J., & Hermier, J.H. 1972. Isolation and determination of qualitative composition of peptides from casein which enhance the growth of *Streptococcus thermophilus*, *European Journal of Biochemistry*, 28, 190-

- 198.
- Di Monaco, R., Cavella, S., & Masi, P. 2008. Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 39:129-149.
- Fox, P.F. 2003. The major constituents of milk. In: *Dairy Processing, Improving Quality* (ed. G Smit), pp. 5–41, CRC Press LLC, Boca Raton, FL.
- Gambaro, A., Fiszman, S., Gimenez, A., Varela, P. & Salvador, A., 2004, Consumer acceptability compared with sensory and instrumental measures of white pan bread: sensory shelf-life estimation by survival analysis. *Journal of Food Science*, 69(9), S401-S405.
- Gauche, C., Tomazi, T., Barreto, P. L. M., Ogliari, P. J., & Bordignon-Luiz, M. T. 2009. Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 239–243.
- GonzalezVinas, MA. Ballesteros, C., Martín-Alvarez, P.J. & Cabezas, L., 2007, Relationship between sensory and instrumental measurements of texture for artisanal and industrial Manchego cheeses. *Journal Sens Stud*, 22, 462– 476.
- Hassan, A.N., Frank, J.F., Schmidt, K.A. & Shalabi, S.I. 1996. Rheological properties of yogurt made using encapsulated nonropy lactic cultures, *Journal of Dairy Science*, 79, 2091–2097.
- Heldman, D.R., & Lund, D.B. 2007. Handbook of Food Engineering, 2nd edn. Pp. 12–15, 25–30, 36–40, New York, NY, USA, CRC Press.
- International IDF standard 99C:1997. Sensory evaluation of dairy products by scoring. Part IV: Recommended method for sensory evaluation of cheese. *International Dairy Federation*.
- Jumah, R. Y., Abu-Jdayil, B., & Shaker R. R. 2001. Effect of type and level of starter culture on the rheological properties of set yogurt during gelation process. *International journal of food properties*, 4 (3), 531–544.
- Koroskenyi, B., & McCarthy, S. P. 2001. Synthesis of acetylated konjac glucomannan and effect of degree of acetylation on water absorbency. *Biomacromolecules*, 2(3), 824-826.
- Krzeminski, A., Großhable, K., & Hinrichs, J. 2011. Structural properties of stirred yoghurt as influenced by whey proteins. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2134–2140.
- Kuecukcetin, A. (2008). Effect of heat treatment of skim milk and final fermentation pH on graininess and roughness of stirred yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 61(4), 385–390.
- Lanzanova, M., & Neviani, E. 1993. Analysis of Conductance Changes as a Growth Index of Lactic Acid Bacteria in Milk, *Journal of Dairy Science* ,76(1), 20–28 .
- Lowe, E. 2004. Process for producing yoghurt with controlled texture and consistency. US Patent, 19US10569024.
- Lucey, J. A. 2009. Milk protein gels. In: *Milk proteins: from expression to food*. Boland, M., Singh, H., & Thompson, A. Elsevier.
- Lucey, J. A., & Singh, H. 1997. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, 30(7), 529–542.
- Lucey, J. A., Munro, P. A., & Singh, H. 1998. Rheological properties and microstructure of acid milk gels as affected by fat content and heat treatment. *Journal of Food Science*, 63(4), 660–664.
- Lucey, J. A., Tamehana, M., Singh, H., & Munro, P. A. 1998. Effect of interactions between denatured whey proteins and casein micelles on the formation and rheological properties of acid skim milk gels. *Journal of Dairy Research*, 65(04), 555–567.
- Mandala, I., Kapetanakou, A., & Kostaropoulos, A. 2008. Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature. II. Effect of freezing. *Food Hydrocolloids*, 22, 1443– 1451.
- Naji-Tabasi, S., & Razavi, S. M. A. 2017. New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part III – Steady and dynamic shear rheology. *Food Hydrocolloids*, 67, 243–250.
- Nsabimana, C., Jiang, B., & Kossah, R. (2005). Manufacturing, properties and shelf life of labneh: a review. *International Journal of Dairy Technology*, 58, 222-231.
- Ozer, B.H., & Robinson, R.K. 1999. The Behaviour of Starter Culture in concentrated yoghurt (Labneh) produced by different techniques. *LWT - Food Science and Technology* , 32, 391–395.
- Ozer, B.H., Bell, A.E., Grandison, A.S., & Robinson, R.K. 1998. Rheological properties of concentrated yoghurt (labneh), *Journal of Texture Studies*, 29, 67–79.
- Ozer, B.H., Robinson, R.K., Grandison, A.S. & Bell, A.E. 1997. Comparison of Techniques for Measuring the Rheological Properties of Labneh (Concentrated Yogurt). *International Journal of Dairy Technology*, 50, 129–134.
- Ozer, B.H., Stenning, R., Grandison, A.S., & Robinson, R.K. 1999. Rheology and microstructure of labneh (concentrated yoghurt), *Journal of Dairy Science*, 82, 682–689.
- Pai, V.B., & Khan, S.A. 2002. Gelation and Rheology of xanthan/ enzyme-modified guar blends. *Carbohydrate polymers*, 49, 207–216.

- Park, Y. W. 2007. Rheological characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(8), 73–78.
- Paulsson, M., & Dejmek, P. 1990. Rheological Properties of Heat-Induced -lactoglobulin gels. *Journal of Dairy Science*, 73, 45– 53.
- Salji, J. 1991. concentrated yoghurt: a challenge to our food industry. *Food Science and Technology Today*, 5(1), 18–19.
- Sodini, I., Montella, J., & Tong, P. S. 2005. Physical properties of yogurt fortified with various commercial whey protein concentrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(5): 853–859.
- Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C. 2007. Industrial yogurt manufacture: monitoring of fermentation process and improvement of final product quality. *Journal of Dairy Science*, 90(6):2641-2654.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological methods in food process engineering* (pp. 17-23). East Lansing, MI. Freeman Press.
- Tamime, A. Y., & R. K. Robinson. 1985. *Yoghurt: Science and Technology*. Pergamon Press, London, United Kingdom.
- Walstra, P., T. van Vliet, and C.G.B. Bremer. (1990). Page 369-382 in *Food Polymers, Gels and Colloids*. E. Dickinson, ed. Royal Soc. Chem., Norwich, United Kingdom.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. 1999. *Yoghurt: science and technology*. Woodhead Publishing.
- Tamime, A.Y. 1993. In *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*, Vol. 7, Ed. by MaCrae, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J., Academic Press, London, pp. 4972–4977.
- Tamime, A.Y., Kalab, M. & Davies, G. 1984 Microstructure of Set-Style Yoghurt Manufactured from Cow's Milk Fortified by Various Methods, *Journal of Food Structure*, 3, 83–92.
- Tenenhaus, M., Pages, J., Ambrosine, L. & Guinot, C., 2005, PLS methodology to study relationships between hedonic judgments and product characteristics. *Food Quality and Preference*, 16, 315-325.
- Van Vliet, T., Lakemond, C. M., & Visschers, R. W. 2004. Rheology and structure of milk protein gels. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9(5), 298-304.
- Varnam, A.H. & Sutherland, J.P. 1994. In *Milk and Milk Products– Technology, Chemistry and Microbiology*, Chapman & Hall, London, pp. 346–385.
- Walstra, P. 2013. *Dairy technology: principles of milk properties and processes*. CRC Press.
- Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., & van Boekel, M. A. J. S. (1999) *Dairy Technology Principles of Milk Properties and Processes*, Marcel Dekker, New York.
- Zhang, L., Xue, Y., Xu, J., Li, Z. & Xue, C. 2015. Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska Pollock surimi gels subjected to high-temperature (120 °C) treatment, *Food Hydrocolloids*, 43, 125-131.

Evaluation and comparison of Sensory, physicochemical and rheological properties of labane formulation produced by wheyless process using principal component analysis (PCA) and partial least squares regression (PLS regression)

M. Kashaninejad, M. Najaf Najafi^{2*}, M. Ghods Rohani², M. Kashaninejad³

Received: 2018.09.02

Accepted: 2019.04.04

Introduction: Labane or concentrated yoghurt is a semi-solid product which is being produced by dehydration of yoghurt or separation of water and some water-soluble solids from yoghurt. High nutritional value, long shelf life, more desirable taste and texture and feasibility to produce other product are the reasons for high acceptance among customers. There are wide ranges of production methods from traditional methods which are tedious, such as separation of whey by fabric bags, to complicated time-consuming methods which also contaminate product and reduce its nutritional value. These cause demand to establish more suitable methods such as “wheyless process” by dried milk, concentrated milk protein or concentrated whey protein. On the other hand, one of the methods for enhancing firmness and textural properties of yoghurts, similar to other dairy products is utilization of hydrocolloids. These components are used for enhancing rheological and textural properties of food and commonly used as additives for increasing viscosity, gel forming ability, enhancing physical stability, film forming ability, controlling crystallization, postponing syneresis and textural improvement. Konjac gum (KG) is a neutral polysaccharide that derived from *Amorphophallus konjac* C. Koch tuber, which is well known in east countries during centuries. Ability to hold water and reduction of cholesterol and glucose are the reasons for growing demand of this gum. So due to the importance of labane produced through wheyless process, the effect of different ingredients of formulation such as milk protein concentrate, cheese whey powder and konjac gum on physicochemical, rheological and sensory properties of labane was investigated and compared these properties by using Principal component analysis (PCA) and Partial least squares regression (PLS regression).

Materials and methods: Cow milk was purchased from local market (Mashhad, Iran). Dried skim milk, milk protein concentrate, cheese whey powder and commercial starter provided from Khorasan Razavi Pegah Company (ABY1, Christian Hansen, Horsholm, Denmark) and KG purchased from Food Chem. (China). In order to concentrate the milk, 3% dried skim milk was added to 1 Kg milk. Then, according to the experimental design (table 2), MPC and CWP added to milk at 0, 4, 6 and 8% levels which reached the total solid of milk to 21.5%. KG with percentage of 0, 0.05, 0.1, 0.15, and 0.2% was added to the mixture at 40°C. The mixtures were homogenized at 50°C and pasteurized at 90°C for 1 min. and then cooled to 43-45°C. The mixtures were incubated at 43-45°C for 3-4 hours after addition of starter. Then the samples were slowly stirred and packed in polyethylene bags after reaching to suitable pH. The samples were transferred to refrigerator for 24 hours then the tests were conducted. PH was measured according to AOAC 2005 official method NO. 935.42.25 gr of samples were centrifuged at 4°C for 10 min. at 4500 rpm. Syneresis was evaluated as percentage of separated serum. Texture analyzer was used for combination of back extrusion and texture profile analysis (TPA) test. 50 mm in diameter cylinder with 10 mm in height and probe with 4 mm diameter and 100 mm height with the speed of 1 mm/s were used to conduct the test. Dynamic rheological parameters were evaluated by rheometer (Parphysica). The device was equipped by 50mm diameter parallel plate with 2 mm gap. Rheo plus/32 version V3.40 software was used to measure elastic modulus (G'), loss modulus (G'') and η^* .

Results & discussion: Results showed that none of the linear, quadratic and interaction effect of MPC, CWP and KG was significant on pH of the samples at the first day. Results represented that the pH of the samples was varied from 0.36 to 0.94 after 5 days and only linear effect of MPC and CWP (at 99% level of confidence) and interaction effect of CWP-KG (at 95% level of confidence) were significant on that. The effect of MPC and CWP and interaction

1. MSc of Novel Dairy Products Manufacture, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2. Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
3. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), 12 POBox: 91775-1163, Mashhad, Iran.

(*Corresponding Author Email: mnajafi.mhd@gmail.com)

effect of MPC-KG, CWP-KG and CWP-MPC-KG were significant on syneresis at 99% of confidence. Results showed that hardness of the samples varied between 3.25-9.58 N and the interaction effects of MPC-KG, CWP-KG and CWP-MPC-KG were significant at 99% of confidence. None of the linear, quadratic and interaction effect of CWP, MPC and KG was not significant on springiness of the samples ($p>0.05$). In strain sweep test, two separated regions were distinguishable: linear viscoelastic (LVE) region that elastic and viscous modulus (G' and G'') were constant and G' was higher than G'' which showed the solid like behavior, and non-LVE region that G' and G'' decreased by increasing strain and led to a crossover point (flowing point) which G'' goes over the G' and liquid-like behavior shows itself. In this test, strain corresponding to start of the non-LVE region and sharp reduction of G' define as critical strain (γ_c) and the corresponding stress of this point defined as critical stress (τ_c). Results represented that G' LVE and G'' LVE of the samples varied from 22.54 to 750.1 and 11.01 to 242.1 Pa, respectively and the selected model (cubic x quadratic) showed that the interaction effect of MPC-KG, CWP-KG and CWP-MPC-KG on G' LVE and G'' LVE was significant at 99% of confidence while the interaction effect of CWP-MPC was only meaningful on G'' LVE. Results also showed that the variation trend of G' LVE and G'' LVE was the same by alteration MPC, CWP and KG in a way that both of these parameters were increased by increasing KG. The effect of MPC-KG and CWP-KG was significant on γ_c and τ_c at 95% confidence and also, in addition to mentioned effect, the interaction effect of CWP-MPC was significant only on γ_c . Increasing KG increased γ_c at higher amount of CWP and lower amount MPC which can be concluded that increasing KG amplified the gel strength. Also, the results of the correlation study between sensory and instrumental measures showed that there was a close relationship between the score of sour taste and the overall acceptance of samples, which showed that among the measured characteristics, sour taste score is more important than other parameters.

Keywords: Cheese whey powder, Konjac gum, Modified texture profile analysis and back extrusion, Milk protein concentrate, Strain sweep test.

اندازه‌گیری ویژگی‌های هندسی و مورفولوژیکی مغز پسته با استفاده از ماشین بینایی

سید محمد امام^{1*} - امیرمحمد رضایی پور² - ابوالفضل فورگی نژاد¹

تاریخ دریافت: 1397/07/23

تاریخ پذیرش: 1398/02/15

چکیده

مغز پسته یکی از مهمترین محصولات صادراتی ایران محسوب می‌شود. بنابراین درجه‌بندی دقیق آن از اهمیت زیادی برخوردار است. این محصول بر اساس استاندارد ملی ایران، با شمارش تعداد پسته در 100 گرم به سه دسته درشت، متوسط و ریز تقسیم می‌شود. در این مقاله با استفاده از روش ماشین بینایی، از تعدادی مغز پسته با اندازه و شکل‌های کاملاً تصادفی تصویربرداری و ذخیره‌سازی در رایانه انجام شد. سپس، عملیات پردازش تصویر شامل بهبود عکس مغز پسته‌ها جهت افزایش دقت لبه‌یابی صورت گرفت. جهت استخراج ابعاد هندسی شامل بزرگترین قطر و مساحت، فرآیند کالیبراسیون دقیق با یک صفحه شطرنجی انجام شد. در استاندارد ملی ایران توجهی به سالم یا شکسته بودن مغز پسته جهت درجه‌بندی این محصول نشده است. لذا در این تحقیق، روش سری فوریه برای استخراج ویژگی‌های مورفولوژیکی مغز پسته شامل گردی، کشیدگی، تقارن، مثلثی و مربعی بودن با استفاده از توصیف‌گرهای مرتبه پایین مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از عملیات کالیبراسیون، دقت اندازه‌گیری با میانگین خطای 0/09 میلی‌متر حاصل شد. با توجه به نتایج آزمایش تجربی مشاهده می‌شود، با استفاده از پردازش تصویر و تکنیک سری فوریه، امکان بهبود استاندارد فعلی از نظر افزایش سرعت، کاهش هزینه‌ها و افزودن پارامترهای شکل مغز پسته جهت تعیین میزان سالم بودن این محصول، امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: مغز پسته، ماشین بینایی، سری فوریه، درجه بندی

مقدمه

وحشی (بنه) را از طریق روش‌های تجربی به‌دست آورده و نتایج آن را با داده‌های حاصل از روش پردازش تصویر مقایسه کرده‌اند. نتایج آنها همخوانی بالا با مقادیر ضریب تبیین بین 0/65 تا 0/90 میان دو روش را نشان می‌دهد. Nouri-Ahmadabadi و همکاران (2017) در روشی که برای دسته‌بندی مغز پسته به‌وسیله ماشین بینایی و ماشین بردار پشتیبان ارائه نمودند، از یک دوربین CCD برای تصویربرداری استفاده شده است. تصاویر گرفته شده در کامپیوتر تحلیل شده و تصاویر از RGB به HSV تبدیل می‌شوند تا مولفه H مربوط به فضای رنگی جداسازی شود و در نهایت تفاوت‌های موجود بین آنها موجب دسته‌بندی پسته‌ها شود. در تحقیقی دیگر بر روی پسته تاثیر رطوبت روی کیفیت پسته و ماندگاری آن سنجیده شده است (Kader et al., 1982). طبق نظر آن‌ها پسته‌هایی با درصد رطوبت 4 تا 6% بهترین کیفیت را داشته و می‌توان آن را به مدت 12 ماه در دمای 20 درجه سانتی‌گراد نگهداری نمود. Ebrahimi Nezhada و همکاران (2017) نشان دادند کندن پوست پسته به روش‌های مرسوم باعث کاهش کیفیت آن و همچنین بالا رفتن قیمت پسته می‌شود. از این رو یک روش اتوماتیک که بر اساس تکنیک پردازش تصویر کار می‌کند برای دسته‌بندی پسته با

از میان روش‌های مختلف درجه‌بندی محصولات کشاورزی می‌توان به استفاده از روش‌های ژنتیکی اشاره کرد اما این روش‌ها به دلیل گران بودن، محدود به استفاده در آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی می‌گردند. از دیگر روش‌ها روش منطق فازی است. لرستانی و همکاران (1386) یک سیستم هوشمند را برای درجه‌بندی سیب گلدن دلشیز با استفاده از منطق فازی طراحی کردند. نتایج به‌دست آمده همخوانی 91/2 و 95/2 درصد به ترتیب برای حالت‌های ارزیابی آنالین و آفلاین با نتایج حاصل از درجه‌بندی به‌وسیله کارشناس خبره را نشان دادند. روش ماشین بینایی یکی از نخستین روش‌های ارزیابی محصولات کشاورزی بوده است. بیشترین کاربرد این روش در سیستم‌های درجه‌بندی محصولات کشاورزی، تشخیص رنگ و عیوب ظاهری است. دسته‌بندی محصولات کشاورزی به‌وسیله ماشین بینایی جایگزین مناسب روش‌های مرسوم دسته‌بندی مانند روش‌های مکانیکی یا الکترونی است. این روش طبقه‌بندی سرعت بالا را توسط الگوریتم‌های پردازش تصویر ارائه می‌دهد. رضوی و همکاران (2010) در پژوهشی که انجام داده‌اند، برخی از ویژگی‌های فیزیکی دانه پسته

* نویسنده مسئول: (Email: sy.m.emam@birjandut.ac.ir)

محاسبه و استخراج پارامترهای شکل

جهت تجزیه و تحلیل پسته‌ها و محاسبات ریاضی از نرم‌افزار National Instruments Labview v8.2.1 و برای استخراج توصیف‌گرهای شکل، از سری فوریه قطبی استفاده شد. در ابتدا باید نقاطی با گام زاویه‌ای برابر روی محیط (مرکز مغز هر پسته) به دست آید. بنابراین به کمک نرم‌افزار، مرکز هندسی هر پسته انتخاب و سپس دو دایره که یکی کوچکتر از دایره محاطی و دیگری بزرگتر از دایره محاطی است، ترسیم گردید. دلیل انتخاب این دو دایره با شعاع‌های ذکر شده، اطمینان از قرار گرفتن مرز ذره بین دایره‌ها می‌باشد. در نهایت خطوطی با گام‌های زاویه‌ای دلخواه از محیط دایره کوچک به محیط دایره بزرگ ترسیم شد و نقاط برخورد (اولین پیکسلی که از سطح روشنایی صفر (تاریک) به سطح روشنایی یک (سفید) تبدیل می‌شود) که لبه جسم را تشکیل می‌دهند مشخص شد. با داشتن مختصات نقاط و اعمال تکنیک فوریه، پارامترهای کشیدگی، گرد بودن ذرات جسم، تقارن، مثلثی و مربعی بودن برای هر یک از ذرات مشخص شد.

روش تصویربرداری

در شکل 1 اجزاء سخت افزاری سیستم آزمایشگاهی جهت تصویربرداری، استخراج ابعاد و ویژگی‌های شکل مغز پسته‌ها نشان داده شده است.

در این تحقیق از دوربین GigE مدل DFK 23GX236 با ارایه سنسور CMOS استفاده شده است که یک دوربین ویدیویی با سنسور 1/2.8 اینچ و اندازه 29(W)×29(D)×29(H) میلی‌متر مکعب بوده و تصاویر گرفته شده توسط آن دارای رزولوشن 1200(V)×1920(H) می‌باشد. برای دوربین از لنز computer مدل M0814-MP2 استفاده شده است که این لنز از نوع C-mount با فاصله کانونی 8 میلی‌متر می‌باشد.

مهمترین بخش، قبل از اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از سیستم آزمایشگاهی فوق، عملیات کالیبراسیون است. با انجام این مرحله امکان تبدیل مختصات جسم از واحد تصویر (پیکسل) به واحد متریک، امکان‌پذیر می‌باشد. کالیبراسیون شامل تشخیص و معرفی موقعیت مکانی دوربین نسبت به جسم و همچنین یافتن پارامترهای ذاتی دوربین و اعمال آنها می‌باشد. در ادامه به توضیح آن پرداخته می‌شود.

دوربین

مدل دوربین در تصویربرداری ایده‌آل، مطابق شکل 2 می‌باشد. به دلیل خطاهای سخت افزاری دوربین و لنز، بین تصاویر واقعی و ایده‌آل اختلاف زیادی وجود دارد.

اعوجاج شعاعی و مماسی لنز دوربین از مهمترین منابع خطای تصویربرداری می‌باشند (Xingfang et al., 2010).

پوست و بدون پوست ارائه نمودند. Mahmoudi و همکاران (2006) برای دسته‌بندی انواع چهارگانه پسته ایرانی روش شبکه‌های عصبی را پیشنهاد کردند. این روش سیگنال‌های صوتی 3200 پسته با 800 نوع مختلف را ضبط می‌کند. این سیگنال‌ها آنالیز شده و دامنه فرکانس آنها استخراج می‌شود و داده‌های گرد آوری شده در روش شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

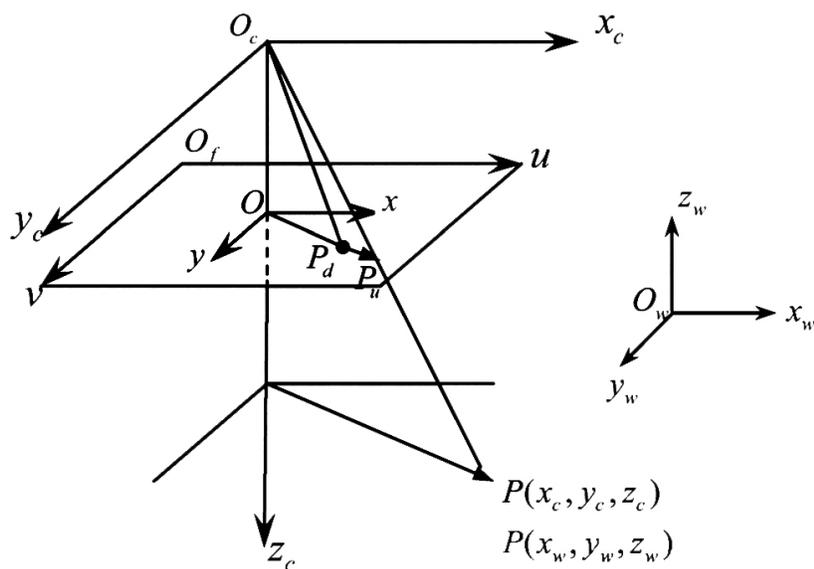
سازمان ملی استاندارد ایران به بررسی ویژگی‌ها و روش‌های آزمون مغز پسته پرداخته و استانداردهایی را برای ویژگی‌ها، نمونه‌برداری، طبقه‌بندی، روش‌های آزمون، بسته‌بندی و نشانه‌گذاری مغز پسته ارائه داده است (استاندارد شماره 218، 1392). در این استاندارد، تعداد 160 مغز پسته در 100 گرم به‌عنوان محصول درجه یک و درشت شناسایی می‌شود. تعداد مغز پسته بین 161 تا 231 و تعداد 231 دانه و بیشتر به ترتیب به‌عنوان مغز پسته متوسط و ریز شناخته می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در این استاندارد توجهی به سالم یا شکسته بودن پسته نشده است. لذا پسته‌ای که شکسته ولی بزرگ باشد از نظر این استاندارد مطلوب است. در حالی که پسته درجه یک برای صادرات، محصولی است که دارای اندازه درشت، سالم، کشیده و دارای کمترین میزان چروکیدگی باشد. در این مقاله با روش ماشین بینایی از 24 مغز پسته در شرایط نورپردازی مناسب تصویر برداری شده و پس از انجام عملیات کالیبراسیون تصاویر را توسط کامپیوتر تحلیل و خواص مورفولوژیکی پسته از قبیل کشیدگی، تقارن، مربعی و مثلثی استخراج می‌شود. با توجه به استانداردهای موجود پسته، دسته‌بندی و کیفیت‌سنجی آن مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای بررسی کارایی سیستم پیشنهادی، تعداد 24 عدد پسته با اندازه و شکل‌های متفاوت انتخاب گردید. لازم به ذکر است، تعداد و نوع پسته انتخاب شده برای اندازه‌گیری، دارای اهمیت نبوده است. زیرا، دقت سیستم پیشنهادی با استفاده از بلوک‌های اندازه‌گیری استاندارد با دقت ساخت 1 میکرومتر سنجیده شد. لذا اندازه‌گیری با توجه به عملیات کالیبراسیون انجام شده، برای هر تعداد پسته با هر شکلی دارای نتایج یکسان خواهد بود. از طرف دیگر برای نشان دادن کارایی سیستم، ویژگی‌های شکل مغز پسته از جمله مثلثی بودن، مربعی بودن، گردی، کشیدگی و تقارن با استفاده از هارمونیک‌های مختلف سری فوریه محاسبه شد. در نهایت مقایسه‌ای بین پارامترهای مورد نیاز در استاندارد ملی ایران جهت درجه‌بندی مغز پسته و پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق جهت مشخص شدن کارایی، سرعت و دقت سیستم پیشنهادی صورت گرفت.



شکل 1- سیستم آزمایشگاهی پیاده‌سازی شده



شکل 2- مدل هندسه تصویربرداری دوربین (Xingfang et al., 2010)

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

مبدأ سیستم مختصات متریک تصویری Oxy در موقعیتی قرار می‌گیرد که محور نوری دوربین، صفحه تصویر را قطع می‌کند. محور y به ترتیب با محورهای x_c و y_c موازی هستند. در این سیستم مختصات، واحد اندازه‌گیری بر حسب میلی‌متر است. تبدیل از سیستم مختصات دوربین به سیستم مختصات تصویر با استفاده از رابطه (3) امکان‌پذیر می‌باشد (Xingfang et al., 2010).

نشان‌دهنده مختصات نقطه P در دستگاه مختصات جهانی $O_w x_w y_w z_w$ می‌باشد. مبدأ سیستم مختصات دوربین $O_c x_c y_c z_c$ در مرکز نوری دوربین قرار دارد و محور z_c در راستای با محور نوری است. تغییر موقعیت هر نقطه از سیستم مختصات جهانی به سیستم مختصات دوربین توسط ماتریس دوران R و بردار انتقال T با استفاده از رابطه (1) امکان‌پذیر می‌باشد (Xingfang et al., 2010).

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T \quad (1)$$

که در رابطه (1) R و T برابرند با:

در فرمول (5)،

پارامترهای $r = \frac{1}{2}((u_d - u_0)^2 + (v_d - v_0)^2)^{\frac{1}{2}}$ و k_1 و k_2 ضرایب اعوجاج شعاعی مرتبه دوم لنز هستند (Xingfang et al., 2010).

الگوریتم کالیبراسیون دوربین

در نزدیکی مرکز تصویر، اعوجاج نوری بسیار کوچک است، بنابراین تصویربرداری می‌تواند تقریباً خطی باشد. بر اساس روابط بخش قبل، تبدیل از مختصات جهانی به مختصات پیکسلی با توجه به رابطه (6) امکان‌پذیر است (Xingfang et al., 2010).

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & a_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

در فرمول (6)، $a_x = fN_x$ ، $a_y = fN_y$ و u_0 و v_0 چهار پارامتر درونی کالیبراسیون نامیده می‌شوند. R و T پارامترهای بیرونی کالیبراسیون هستند و از شش مجهول شامل سه زوایای دوران و سه بردار انتقال نسبت به محورهای x ، y و z تشکیل شده‌اند. تجزیه و تحلیل فوق نشان می‌دهد که برای یافتن 10 پارامتر کالیبراسیون (4) پارامتر درونی و 6 پارامتر بیرونی) نیاز به دانستن موقعیت دقیق حداقل 5 نقطه از یک جسم (هر نقطه شامل دو معلوم در راستای x و y) می‌باشد. در این تحقیق برای استخراج این پارامترها با دقت قابل قبول، از صفحه کالیبراسیون انتخاب شده در شکل 1 شامل 48 نقطه استفاده شده است. در نهایت با جابه‌جا کردن صفحه کالیبراسیون در 15 موقعیت مختلف، محدوده فضایی مورد نظر کالیبره می‌شود. پس از یافتن پارامترهای کالیبراسیون و برقراری رابطه مجدد بین نقاط متناظر در صفحه کالیبراسیون و تصویر، برای تمام نقاط، مقدار خطای بین محل واقعی نقاط تصویر و نقاط استخراج شده بر حسب پیکسل در شکل 3 نشان داده شده است. مشاهده می‌شود مقدار میانگین خطا در راستای x و y به ترتیب برابر 0/26 پیکسل و 0/28 پیکسل می‌باشد.

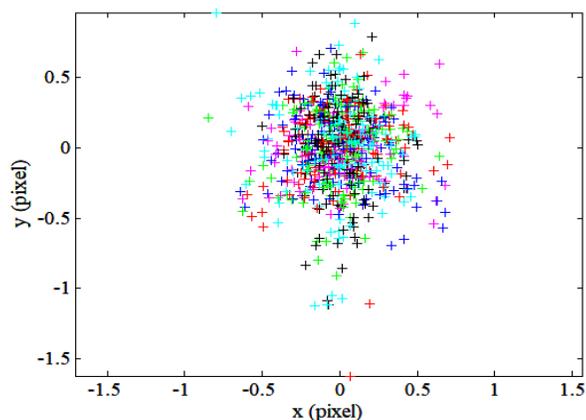
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{z_c} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

پارامتر f در رابطه (3) فاصله کانونی دوربین می‌باشد. مبدأ سیستم مختصات پیکسلی تصویر $Ofuv$ در بالا سمت چپ تصویر قرار می‌گیرد و محورها u و v به ترتیب ستون‌ها و ردیف‌های پیکسل‌ها هستند. در این سیستم مختصات، واحد اندازه‌گیری بر حسب پیکسل است. ابتدا مختصات پیکسلی مرکز تصویر O (همچنین مرکز سیستم مختصات متریک تصویر) (u_0, v_0) در نظر گرفته می‌شود. سپس تبدیل از سیستم مختصات متریک تصویر به سیستم مختصات پیکسلی تصویر توسط رابطه (4) قابل محاسبه است (Xingfang et al., 2010).

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_x & 0 & u_0 \\ 0 & N_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

در رابطه (4) N_x و N_y نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌ها به ترتیب در جهت x و y سطح تصویر است. (u, v) مختصات نقاط تصویر در واحد پیکسل و در شرایط ایده‌آل است. $P_d(x_d, y_d)$ مختصات واقعی نقاط تصویر با وجود خطاهای سخت‌افزاری از جمله اعوجاج لنز است که باعث بروز خطای شعاعی و مماسی در حین انتقال نقاط بین دستگاه مختصات صفحه کالیبراسیون و تصویر می‌شود. در خطای شعاعی که با توجه به کاهش دقت ساخت لبه‌های لنز نسبت به مرکز آن ایجاد می‌شود، نقاط تصویر در راستای شعاع لنز جابجا خواهند شد. از سوی دیگر به دلیل قرار نگرفتن محور تقارن دو طرف لنز در یک راستا، خطای مماسی رخ می‌دهد. مختصات واقعی نقاط تصویر طبق رابطه (5) به مختصات ایده‌آل تبدیل می‌گردد (Xingfang et al., 2010).

$$\begin{aligned} u - u_0 &= (u_d - u_0)(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \\ v - v_0 &= (v_d - v_0)(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \end{aligned} \quad (5)$$



شکل 3- مدل هندسه تصویربرداری دوربین

روش فوریه

با استفاده از ویژگی‌های شکل مغز پسته از جمله مثلثی بودن، مربعی بودن، گردی، کشیدگی و تقارن و ارتباط آن با عیوب پسته، درجه‌بندی امکان‌پذیر می‌باشد. به‌عنوان مثال، پسته شکسته دارای گوشه‌های تیز بوده و ضریب مثلثی بودن نسبتاً بزرگی خواهد داشت. در ادامه روابط ریاضی و پارامترهای مختلف شکل مورد بررسی قرار گرفته است. استخراج توصیف‌گرهای سری فوریه به فرم قطبی با استفاده از فرمول (7) امکان‌پذیر می‌باشد.

$$R(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^N (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \quad (7)$$

که در این فرمول، R نشان‌دهنده شعاع (فاصله مرکز هندسی جسم تا لبه) در زاویه θ است. n نشان‌دهنده هارمونیک‌های مختلف شکل و N تعداد کل هارمونیک مورد استفاده خواهد بود. a و b ضرایب سری فوریه جهت استخراج پارامترهای شکل مطابق جدول 1 می‌باشند.

توصیف‌گرهای مورد استفاده در این مقاله طبق فرمول (8) محاسبه می‌شود (Clark et al., 1981; Bowman et al., 2000).

$$(8) \quad \text{ضریب توصیف‌گر} = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)}$$

جدول 1- توصیف‌گرهای سری فوریه

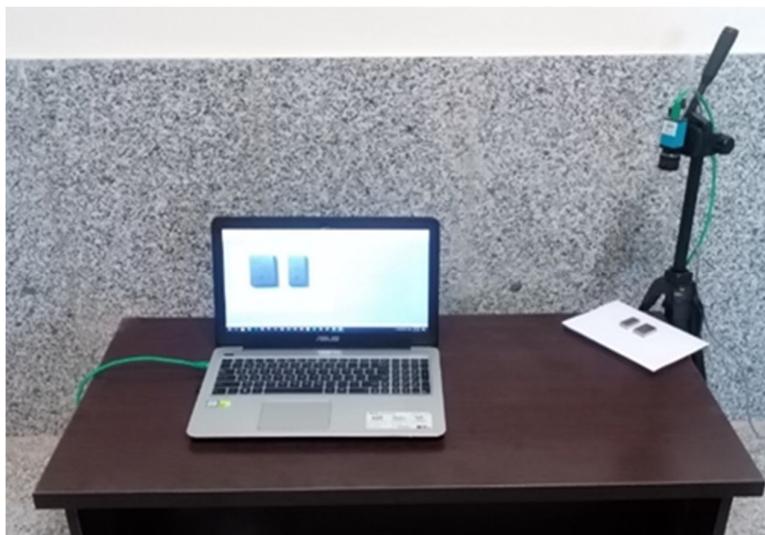
توصیف‌گر سری فوریه	ضریب (n)
گردی	صفر
تقارن	1
کشیدگی	2
مثلثی بودن	3
مربعی بودن	4

با به‌دست آوردن مختصات چهار نقطه در لبه‌های بلوک با کمک نرم‌افزار NI Vision Assistant مطابق شکل 5 و به‌دست آوردن روابط خطوط گذرنده از نقاط 1، 2 و 3، 4 عرض بلوک با استفاده از فاصله این دو خط به‌دست می‌آید.

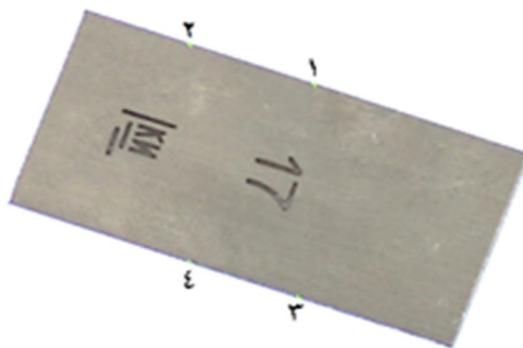
در جدول 2 نتایج حاصل از اندازه‌گیری بلوک‌ها و دقت کالیبراسیون نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، میانگین خطای اندازه‌گیری برابر 0/09 میلی‌متر می‌باشد.

نتایج حاصل از روش تصویربرداری و کالیبراسیون

برای بررسی دقت اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از سیستم آزمایشگاهی پیاده‌سازی شده از دو بلوک گیج مدل Moore & Wright با دقت ساخت 0/45 تا 1 میکرومتر (با توجه به اندازه بلوک‌ها) مطابق شکل 4 استفاده شده است. شرایط تصویربرداری برای اندازه‌گیری این قطعه با شرایطی که از مغز پسته‌ها تصویر برداشته شده است یکسان در نظر گرفته می‌شود تا بتوان دقت اندازه‌گیری را مقایسه نمود.



شکل 4- بلوک گیج‌های انتخاب شده جهت بررسی دقت سیستم



شکل 5- استخراج مختصات نقاط بر روی بلوک گچی

جدول 2- نتایج حاصل اندازه‌گیری بلوک‌ها و دقت کالیبراسیون

بلوک 2	بلوک 1	
24	17	اندازه واقعی (mm)
24/10	16/93	اندازه محاسبه شده
0/10	0/07	میزان خطا (mm)
0/09		میانگین خطا (mm)

نشان داده شده است. تصویر باینری شده در این قسمت به‌عنوان ورودی برای انجام محاسبات ریاضی و اعمال سری فوریه روی پسته‌ها و استخراج خصوصیات شکل استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در شکل 8 تعداد 24 پسته وجود دارد لذا جهت مشخص شدن خصوصیات هر پسته، از شماره‌گذاری طبق شکل 8 استفاده شده است. برای نمونه مراحل مربوط به استخراج ویژگی‌های شکل مغز پسته برای پسته شماره 4، در شکل 9 نشان داده شده است.

پردازش تصویر مغز پسته‌ها

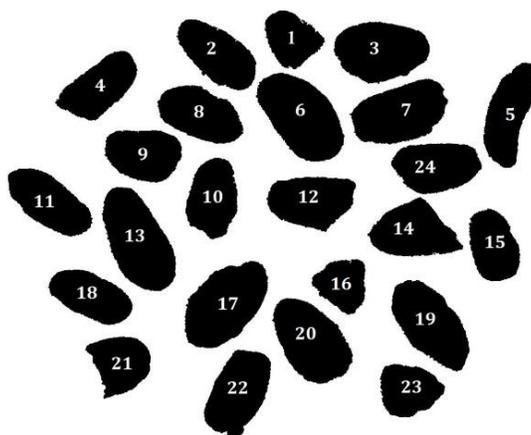
در شکل 6 تصویربرداری از مغز پسته‌ها نشان داده شده است. چیدمان سیستم آزمایشگاهی در این حالت دارای شرایط یکسانی با قسمت کالیبراسیون می‌باشد. در شکل 7 تصویر اولیه گرفته شده از مغز پسته‌ها نشان داده شده است. در این مرحله با استفاده از روش Inter variance مغز پسته‌ها به تصویر باینری تبدیل می‌شوند. در شکل 8 تصویر باینری مغز پسته‌ها



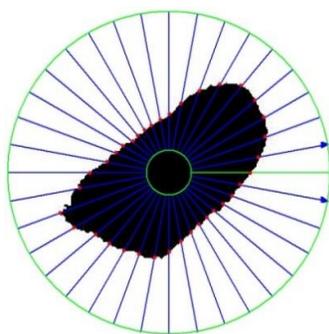
شکل 6- سیستم آزمایشگاهی در حال تصویربرداری از مغز پسته‌ها



شکل 7- تصویر اولیه مغز پسته‌ها



شکل 8- تصاویر مغز پسته پس از اعمال الگوریتم باینری و شماره‌گذاری



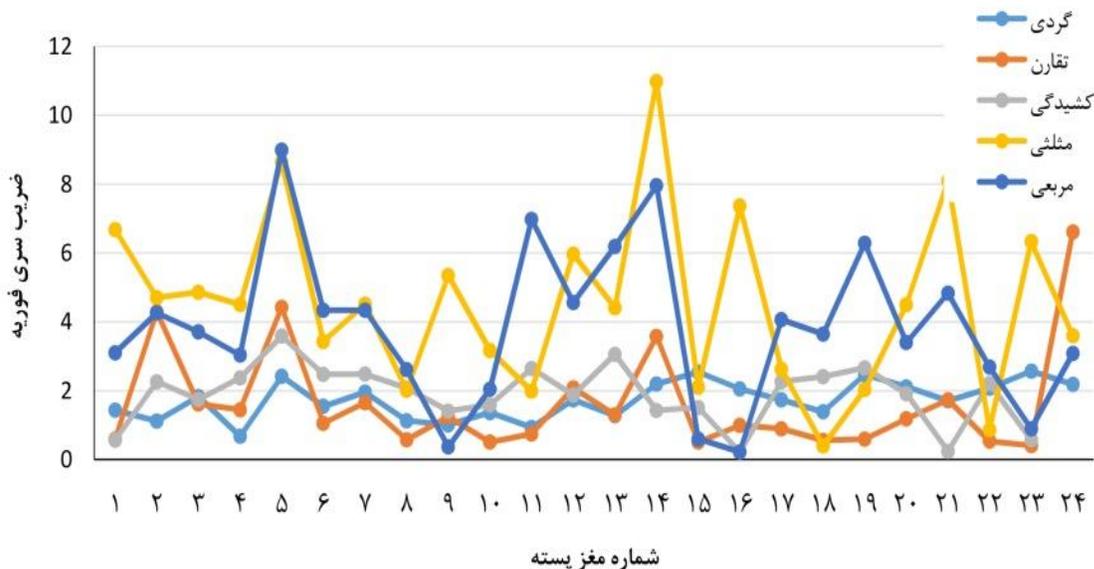
شکل 9- تصویر پسته شماره 4 پس از استخراج نقاط مرزی

مثلی بودن برای پسته شماره 14 بیشترین مقدار را دارد که این موضوع در شکل 7 قابل ملاحظه است. همانطور که ذکر شد، روشی که استاندارد شماره 218 جهت درجه‌بندی پسته پیشنهاد می‌دهد، نیازمند

در شکل 10 توصیف‌گرهای سری فوریه برای کشیدگی، تقارن، مربعی، گردی و مثلی بودن تک تک پسته‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، به‌عنوان مثال ضریب

مساحت می‌توان پسته را بر اساس اندازه به سه دسته درشت، متوسط و ریز درجه‌بندی نمود. در جدول 3 بزرگترین قطر و مساحت همه پسته‌ها با یک تصویر گرفته شده در قسمت قبل استخراج گردیده است.

شمارش تعداد مغز پسته موجود در 100 گرم از این محصول می‌باشد. این فرآیند نیازمند وزن کردن و همچنین شمارش مغز پسته می‌باشد که کاری زمان‌بر می‌باشد. در این مقاله روشی پیشنهاد می‌شود که در آن با یک بار تصویربرداری و استخراج پارامترهای بیشترین قطر و



شکل 10- توصیف گرهای سری فوریه برای مغز پسته‌ها

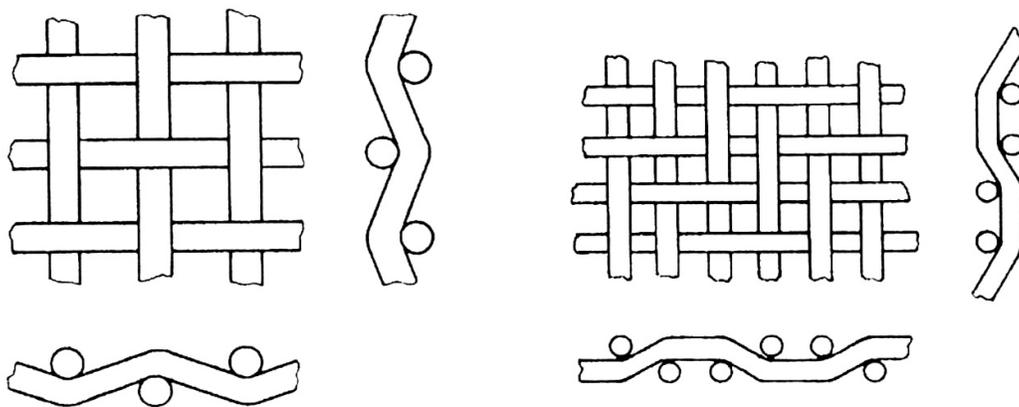
جدول 3- بزرگترین قطر و مساحت برای مغز پسته‌ها

شماره	قطر (cm)	مساحت (cm^2)	شماره پسته	قطر (cm)	مساحت (cm^2)
1	1/11573	0/76717	13	2/00653	1/64232
2	1/62681	1/17647	14	1/70834	1/17506
3	1/70523	1/78195	15	1/25900	0/94842
4	1/55576	1/03744	16	0/98536	0/66112
5	1/95485	1/14046	17	1/84081	1/57159
6	1/84033	1/65746	18	1/47007	0/94801
7	1/81301	1/51843	19	1/87821	1/37662
8	1/54946	1/05463	20	1/62394	1/43452
9	1/28280	1/05360	21	1/20065	0/80326
10	1/40047	1/00943	22	1/56300	1/25527
11	1/72278	1/13847	23	1/13515	0/78762
12	1/56589	1/13946	24	1/62656	1/13261

(استاندارد شماره 302، 1381). در این استاندارد برای درجه‌بندی ماسه بر اساس اندازه از آزمون الک کردن استفاده شده است (استاندارد 1598،

جهت پیاده‌سازی این ایده نیاز است تا استاندارد ملی ایران متناسب با این روش ارتقا یابد. به‌عنوان مثال، در استاندارد مربوط به ماسه به کار رفته در بتن، درجه‌بندی بر اساس اندازه هندسی تدوین شده است

درجه بندی صورت نگرفته است، لذا امکان مقایسه با استاندارد شماره 218 وجود ندارد؛ ولی با توجه به نتایج قسمت کالیبراسیون، اندازه‌های استخراج شده در جدول 3 با میانگین خطای 0/09 میلی‌متر دقت داشته و در صورت تغییر استاندارد این محصول، درجه بندی به راحتی امکان پذیر است. با توجه به مساحت و قطر ماکزیمم به دست آمده، می‌توان درصد عبور مغز پسته‌ها از هر الک استاندارد را محاسبه نمود.



شکل 11- الک‌های آزمون استاندارد، الف) بافت جناغی ب) بافت ساده (استاندارد 1598، 1392)

نتیجه‌گیری

1392). در شکل 11 دو نمونه الک مورد استفاده در استاندارد با بافت‌های متفاوت نشان داده شده است. در این استاندارد، باید ماده مورد نظر از الک‌هایی با اندازه مش‌های (سوراخ‌های) متفاوت از مش درشت تا ریز با اندازه‌های استاندارد عبور کرده و با توجه به درصد دانه‌های عبور کرده از هر الک، درجه بندی انجام خواهد گرفت. با توجه به اینکه در استاندارد مغز پسته این روش

درجه بندی امکان پذیر است. از طرف دیگر در استاندارد ایران، در درجه بندی این محصول صادراتی مهم توجه‌ای به سالم و شکسته بودن مغز پسته نشده است که با روش پیشنهادی در این تحقیق، این پارامتر مهم نیز قابل اندازه‌گیری است.

2- با توجه به عملیات کالیبراسیون انجام گرفته و محاسبه ابعاد بلوک‌های استاندارد با دقت 1 میکرومتر، دقت اندازه‌گیری ابعادی پسته با میانگین خطای 0/09 میلی‌متر حاصل شد.

3- جهت استخراج ویژگی‌های مورفولوژیکی از توصیف‌گرهای سری فوریه استفاده شده است. لذا پارامترهایی از قبیل گردی، کشیدگی، تقارن، مثلثی و مربعی بودن که مرتبط با شکل مغز پسته باشد قابل محاسبه است. لذا بهترین مغز پسته جهت صادرات، محصولی است که دارای کشیدگی و تقارن زیاد و ضریب مثلث بودن پایینی داشته باشد.

4- استخراج تمام ویژگی‌های هندسی و مورفولوژیکی مغز پسته فقط با یک تصویر، با سرعت و دقت بالا محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است عملیات کالیبراسیون فقط یک مرتبه انجام می‌گیرد و سپس درجه بندی مغز پسته برای هر مجموعه با یک عکس قابل انجام است.

5- امکان پیاده‌سازی سیستم فوق بر روی نوار نقاله در خطوط تولید پیوسته برای بسته بندی مغز پسته امکان پذیر است. لذا در این

اندازه‌گیری ابعادی، یکی از بخش‌های مهم در صنایع مختلف می‌باشد. کنترل کیفیت و بازرسی محصولات تولیدی وابسته به اندازه‌گیری دقیق و سریع در خط تولید می‌باشد. مغز پسته نیز جهت درجه بندی نیازمند استخراج ابعاد هندسی می‌باشد. در حال حاضر این فرآیند توسط روش‌های سنتی و دستی انجام می‌شود که معایبی مثل عدم دقت و سرعت کافی را به همراه دارد. در این مقاله با استفاده از روش بدیع ماشین بینایی، ویژگی‌های هندسی و همچنین خصوصیات مورفولوژیکی مغز پسته اندازه‌گیری شده است. مزایای اندازه‌گیری با استفاده از سیستم غیرتماسی فوق و نتایج به دست آمده عبارت است از: 1- با استفاده از سیستم اندازه‌گیری مبتنی بر روش ماشین بینایی، امکان استخراج ویژگی‌های هندسی و مورفولوژیکی مغز پسته جهت درجه بندی با دقت و سرعت بالا امکان پذیر است. لازم به ذکر است در استاندارد ملی ایران، درجه بندی فقط بر اساس ویژگی‌های هندسی و توسط اوپراتور انجام می‌شود که کاری زمانبر و وابسته به دقت اوپراتور دارد.

2- جهت نشان دادن کارایی سیستم از استانداردهای ملی ایران استفاده شده است. هر چند امکان مقایسه در این تحقیق به دلیل تفاوت در پارامترهای ذکر شده در این تحقیق و استاندارد وجود ندارد ولی پیاده‌سازی سیستم پیشنهادی جهت استخراج ویژگی‌های هندسی جهت

حالت نیازی به توقف خط و درجه بندی محصول طبق استاندارد فعلی برای وزن کردن تعداد مشخصی از این محصول نیست.

منابع

- رضوی، س. م. ع.، مظاهری نسب، م.، نیکفرو، ف. و ثنائی فرد، ح.، 2010، خواص فیزیکی و پردازش تصویر دانه پسته وحشی بنه، مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، 3 (2)، 61-71.
- کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها، 1392، ال‌ک‌های آزمون و آزمون ال‌ک کردن - واژه نامه (استاندارد شماره 1598)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ایران.
- کمیته ملی استاندارد ساختمان و معدن، 1381، سنگدانه های بتن-ویژگی‌ها (استاندارد شماره 302)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ایران.
- کمیته ملی استاندارد خوراک و فرآورده های کشاورزی، 1392، مغز پسته-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون (استاندارد شماره 218)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ایران.
- لرستانی، ع.، امید، م.، طباطبایی فر، س. ا.، برقی، ع. م. و باقری شورکی، س.، 1386، طراحی و ارزیابی یک سیستم هوشمند درجه‌بند سیب گل‌دن دلشیز با منطق فازی، مجله علوم کشاورزی ایران، 38 (1) 1-10.
- Bowman, E. T., Soga, K., & Drummond, W., 2001, Particle shape characterisation using Fourier descriptor analysis. *Geotechnique*, 51(6), 545-554.
- Clark, M. W., 1981, Quantitative shape analysis: a review. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 13(4), 303-320.
- Kader, A. A., Heintz, C. M., Labavitch, J. M., & Rae, H. L., 1982, Studies related to the description and evaluation of pistachio nut quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107(5), 812-816.
- Mahmoudi, A., Omid, M., Aghagolzadeh, A., & Borgayee, A. M., 2006, Grading of Iranian's export pistachio nuts based on artificial neural networks. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8 (3), 371-376.
- Nezhad, R., & Ebrahimi, F., 2014, an intelligent-based mechatronics system for grading the iranian's export pistachio nuts into hulled and non-hulled groups. *Indian Journal of Scientific Research*, 7(1), 1063-1071.
- Nouri-Ahmadabadi, H., Omid, M., Mohtasebi, S. S., & Firouz, M. S., 2017, Design, development and evaluation of an online grading system for peeled pistachios equipped with machine vision technology and support vector machine. *Information Processing in Agriculture*, 4(4), 333-341.
- Xingfang, Y., Yumei, H., & Feng, G., 2010, October, A simple camera calibration method based on sub-pixel corner extraction of the chessboard image. In *Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS), 2010 IEEE International Conference on (Vol. 3, pp. 688-692)*. IEEE.



Geometric and morphological characteristics measurement of pistachios using the machine vision

S. M. Emam^{1*}, A. M. Rezaiepoor², A. Foorginejad¹

Received: 2018.10.15

Accepted: 2019.05.05

Introduction: Pistachio cereals are one of the most important products in the export sector. Therefore, accurate grading of pistachios is very important. By counting the number of pistachios in 100gr according to the national standard of Iran, this product is classified into three categories of large, medium and small.

Materials and methods: In this paper, the image of some pistachio cereals with different random size and shape was taken and stored in computers using the machine vision technique. Then, the image processing operations consisted of improving the pistachio images to increase the accuracy of edge detection was done. The exact calibration process was performed with a chessboard plate was conducted to extract the geometrical dimensions including the largest diameter and area. In the national standard of Iran, intact or broken pistachios are not considered to grade this product. Therefore, in this research, Fourier series method is used to extract morphological characteristics of pistachio cereals including roundness, elongation, asymmetry, triangularity and squareness using the low order descriptors. According to the results of the calibration operation, the dimensional measurement of pistachios with an average error of 0.09 mm is possible

Results & Discussion: According to the experimental results, it is possible to improve the current standard of pistachio using image processing and fourier series techniques in terms of increasing measurement speed, reducing costs, and adding the shape characteristics of pistachios to determine the amount of intact or broken pistachios.

Keywords: Pistachio, Machine vision, Fourier series, Grading.

1 and 2. Assistant Professor and Graduate Bachelor, Department of Mechanical Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran.

(* Corresponding Author: sy.m.emam@birjandut.ac.ir)

بررسی اهمیت حلال در تخلیص آبی اجسام روغنی از دانه کلزا

فاطمه سعادت¹ - سید هادی رضوی^{2*} - هوشنگ علیزاده³

تاریخ دریافت: 1397/08/25

تاریخ پذیرش: 1398/02/12

چکیده

گیاهان روغنی انرژی را به شکل لیپیدهای خنثی در اندامک‌هایی به نام اجسام روغنی (Oil Body) ذخیره می‌کنند. این اندامک‌ها تری اسیل گلیسرول را تا زمان جوانه‌زنی در شرایط و تنش‌های مختلف محیطی حفظ می‌کنند. در سال‌های اخیر اجسام روغنی به‌عنوان امولسیون روغن در آب در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی بهداشتی مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین این اندامک‌ها ابزاری کارآمد در تخلیص، تثبیت و دارورسانی محصولات بیوتکنولوژی محسوب می‌شوند. متداول‌ترین روش جداسازی اجسام روغنی از گیاهان استفاده از محیط‌های آبی است که علیرغم تمام مزایایی که نسبت به استفاده از حلال‌های آلی دارند، از بازده پایین‌تری برخوردار هستند. این مقاله به بررسی کارایی دو حلال بافر فسفات (0/1 مولار، pH=7/5) و آب مقطر در استخراج آبی اجسام روغنی دانه‌های کلزا می‌پردازد. برای این منظور بذور گیاه کلزا (*Brassica napus. L*) از موسسه اصلاح بذر و نهال ایران تهیه گردیدند. سپس پودر کلزا در حلال‌ها به نسبت 1 به 10 (وزنی/حجمی) به مدت 12 ساعت در دمای اتاق مخلوط شدند. این مرحله 3 بار تکرار گردید. عصاره به‌دست آمده در دور 10 هزار g به مدت 15 دقیقه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ گردید. لایه شناور با دقت برداشته شده و در بافر اولیه حل گردید و pH آن به 8/5 رسانده شد تا پروتئین‌های تخریب شده حذف گردند. در نهایت، لایه کرمی مجدداً بازیابی شده و در یک دهم حجم اولیه از بافر اوره 9 مولار (pH=7.5) برای 10 دقیقه ترکیب شد تا پروتئین‌های غیراختصاصی از اجسام روغنی جدا گردند. اجسام روغنی تخلیص شده در زیر میکروسکوپ نوری بررسی گردیدند. براساس نتایج میکروسکوپی و ماکروسکوپی، کارایی بافر فسفات بدلیل قابلیت حفظ pH قلیایی در طی استخراج بهتر از آب مقطر بوده و ذرات روغنی استخراج شده با این بافر از پایداری بیشتری برخوردار هستند. از طرف دیگر، بافر فسفات بدلیل ایجاد فشار اسمزی و افزایش حلالیت پروتئین‌های غشایی کارایی تخلیص را تا دو برابر افزایش می‌دهد. این نتایج بیش از پیش اهمیت حضور پروتئین‌های غشایی در تشکیل و تثبیت اجسام روغنی را مشخص می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، امولسیفایر، پروتئین‌های غشایی، بهینه‌سازی، بافر فسفات

مقدمه

که دارند (1% حجم اجسام روغنی)، نقش مهمی در پایداری اجسام روغنی بازی می‌کنند (Wang et al., 2012). این پروتئین‌ها آبگریز و قلیایی بوده و دارای سه ناحیه مجزا می‌باشند: انتهای کربوکسیل و آمین آمفی‌پاتیک و ناحیه آبگریز میانی. ناحیه میانی به شدت محافظت شده است و با عبور از غشاء تک لایه فسفولیپیدی به درون اجسام روغنی لنگر می‌اندازد. در مقابل نواحی انتهایی متغیر بوده و بر سطح فسفولیپید و در معرض سیتوپلاسم قرار می‌گیرند بطوریکه بار منفی آنها با ایجاد ممانعت فضایی و دافعه الکتروستاتیکی مانع از ادغام لیپیدهای ذخیره‌ای بخصوص در طی خشک شدن بذر می‌شوند و در نتیجه به متحرک بودن اجسام روغنی در طی جوانه زنی کمک می‌کنند (Bhatla et al., 2010).

اجسام روغنی به علت خاصیت سورفاکتانتی به‌عنوان عوامل تعلیق‌کننده اقتصادی، زیست‌سازگار و تجدیدپذیر مورد توجه هستند و در صنایع غذایی، محصولات دارویی، آرایشی بهداشتی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌علاوه، ابزار جدید و موفق در صنایع مختلف بیوتکنولوژی از جمله دارورسانی، بیوکسوله کردن مولکول‌های هیدروفوب و تخلیص، تثبیت، و پایداری پروتئین‌های نوترکیب

سلول‌های یوکاریوتی حاوی اندامک‌هایی برای ذخیره لیپیدهای درون سلولی هستند. این اندامک‌ها در گیاهان عالی با نام اجسام روغنی شناخته شده و بیش از نیمی از وزن دانه‌های روغنی را تشکیل می‌دهند (Zweytick et al., 2000). ساختار اجسام روغنی نسبتاً ساده و شامل لیپیدهای خنثی (به‌خصوص تری اسیل گلیسرول‌ها)، غشاء تک لایه فسفولیپیدی و پروتئین‌های غشایی است. شناخته شده‌ترین و متداول‌ترین پروتئین‌های سطح اجسام روغنی گیاهان اولئوسین (1990) و کالتوسین (1999) هستند که علیرغم میزان کمی

1- دانشجوی دکترا، گروه مستقل بیوتکنولوژی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

2- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

3- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

* - نویسنده مسئول: (Email: srazavi@ut.ac.ir)

استخراج آبی است که بر روی طیف وسیعی از دانه‌های روغنی همچون کلزا (Jolivet *et al.*, 2006; Shen *et al.*, 2012)، بادام زمینی (Schwager *et al.*, 2015)، ذرت (Nikiforidis *et al.*, 2011)، آفتابگردان (Millichip *et al.*, 1996)، کدو تنبل (Adams *et al.*, 2012) و غیره صورت گرفته است. این روش نه تنها فاقد مشکلات عصاره‌گیری با حلال هگزان است بلکه می‌تواند هزینه و انرژی لازم برای هم‌وزن‌نیز کردن امولسیون را کاهش دهد. بررسی مکانیسم استخراج آبی اجسام روغنی از گیاهان و بهینه‌سازی آن حوزه جدیدی در صنایع غذایی است. لذا لازم است برای افزایش کارایی و کیفیت و امکان استفاده از این محصول عوامل موثر در تخلیص آن بهینه‌سازی شوند. تاکنون مطالعات متعددی جهت بررسی اثر دما، pH و حضور نمک در کارایی این روش صورت گرفته است (Nikiforidis *et al.*, 2014). با این حال براساس اطلاعات موجود، گزارشی جهت انتخاب بافر مناسب وجود ندارد. لذا در این مطالعه کارایی دو حلال متداول در تخلیص ذرات روغنی، یعنی بافر فسفات و آب مقطر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

همچنین باتوجه به نوین بودن این مبحث مروری بر شرایط مطلوب استخراج این اندامک‌های روغنی صورت می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

تهیه بذور کلزا

بذور کلزا (*Brassica napus* L.) رقم احمدی از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و در دمای 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند.

استخراج اجسام روغنی

دانه‌های کلزا به‌خوبی شسته و در مجاورت هوا خشک شدند و سپس با استفاده از آسیاب پودر گردیدند. جهت مقایسه کارایی حلال‌ها، از بافر فسفات 10 میلی‌مولار (pH=7/5) و همچنین آب مقطر به‌صورت جداگانه جهت استخراج استفاده گردید. نسبت 1 به 10 وزنی حجمی از پودر دانه کلزا و حلال به مدت 24 ساعت در دمای اتاق بر روی همزن مغناطیسی ترکیب شد. سپس مخلوط همگن از کاغذ صافی عبور داده شد تا حلال از پودر جدا گردد. مراحل فوق سه بار تکرار گردید تا اجسام روغنی به‌خوبی استخراج شوند. عصاره استخراج شده با دور 10000g به مدت 15 دقیقه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. سپس لایه کرم‌مانند رویی با دقت برداشته شده و به ظرف جدیدی منتقل گردید. لایه کرمی مجدداً در حلال اولیه حل شده و pH بر روی 8/5 تنظیم گردیده و سپس برای یک ساعت روی شیکر گذاشته شد تا پروتئین‌های تانخورده رسوب کنند. سپس لایه کرمی با استفاده از سانتریفیوژ بازیابی شده و در یک

محسوب می‌شوند (Peng *et al.*, 2003; Bhatla *et al.*, 2010; Nikiforidis and Scholten, 2015). بخش روغنی این اندامک‌ها از کالری روزانه ما و پایه صنایع چند میلیارد دلاری محسوب می‌شوند (Murphy, 2001). به‌طوریکه سالانه بیش از 190 میلیون تن روغن گیاهی در بازار جهانی جهت مصارف غذایی (حدود 90%) و کاربردهایی همچون رنگ‌سازی، روغن‌کاری، تولید شوینده‌ها، پلاستیک، سوخت‌های زیستی، شمع، جوهر و ... مصرف می‌شود (Cahoon and Schmid, 2008). نخل روغنی (31%)، سویا (23%) و کلزا (15%) به‌ترتیب مهمترین منابع روغن در جهان می‌باشند. در این بین روغن کلزا اسیدچرب اشباع کمی داشته و غنی از آلفا لینولنیک اسید (امگا-3) است. به‌طوریکه حدود 10% از کل روغن را امگا-3 تشکیل می‌دهد. لذا این روغن جزء معدود غذاهایی است که به تنهایی می‌تواند در افزایش امگا-3 بدن موثر باشد. بذور کلزا حاوی 45% (w/w) روغن و بسته به وارته 17 تا 25% پروتئین هستند. اگرچه میزان روغن دانه‌های کلزا بیشتر از سویا (24%) و تقریباً هم‌تراز با نخل (55%) است اما استخراج کارآمد روغن کلزا نسبت به سایر دانه‌های روغنی مانند سویا و آفتابگردان سخت‌تر می‌باشد. به‌طور خلاصه جهت استخراج روغن، دانه‌های کلزا پس از پوست‌گیری، پخته و پرس شده و در نهایت با حلال هگزان روغن‌کشی می‌گردند. این روش بسیار متداول و کارآمد است اما برای استخراج روغن از هر تن دانه کلزا حدود 1 لیتر حلال هگزان و 280 کیلووات بر ساعت انرژی مصرف می‌شود. این انرژی که از سوخت فسیلی یا همان گاز به‌دست می‌آید بیشتر (65%) صرف پختن و خشک کردن دانه‌ها و نیز حلال‌زدایی بقایا می‌شود. از طرفی حلال هگزان ترکیبی سمی، آتش‌گیر و فرار بوده که علاوه بر آلودگی هوا، نیاز به هزینه بالایی برای اجرای قوانین ایمنی زیستی و نگهداری دارد (Miquel *et al.*, 2011). همچنین دغدغه باقی ماندن حلال در روغن کلزا اطمینان به امنیت غذایی این روش را کاهش می‌دهد (Chen and Ono, 2010). از طرف دیگر، هگزان تنها می‌تواند لیپیدهای خنثی را استخراج کند و قابلیت استخراج لیپیدهای قطبی مانند فسفولیپیدها، پروتئین‌های غشایی و در نتیجه اجسام روغنی را ندارد (Iwanaga *et al.*, 2007; Nikiforidis *et al.*, 2014). اجسام روغنی به‌علت خاصیت سورفکتانتی به‌عنوان عوامل تعلیق‌کننده اقتصادی، زیست‌سازگار و تجدیدپذیر مورد توجه هستند و در صنایع غذایی، محصولات دارویی، آرایشی بهداشتی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌علاوه ابزار جدید و موفقی در صنایع مختلف بیوتکنولوژی از جمله دارورسانی، بیوکپسوله کردن مولکول‌های هیدروفوب و تخلیص، تثبیت، و پایداری پروتئین‌های نو ترکیب محسوب می‌شوند (Peng *et al.*, 2003; Bhatla *et al.*, 2010; Nikiforidis and Scholten, 2015).

در حال حاضر متداول‌ترین روش برای استخراج ذرات روغنی سالم و کارآمد در صنایع بیوتکنولوژی و تحقیقات گیاهی، فرایند

می‌دهد. براساس مطالعات منتشر شده، هر اندازه نمونه کوچکتر باشد (کمتر از 0/8 میلی‌متر) کارایی تخلیص افزایش می‌یابد. این امر احتمالاً به دلیل افزایش سطوح در تماس با حلال است. با این حال ذرات بسیار ریز نیز ممکن است سبب به هم آمیختگی اجسام روغنی بشوند (Nikiforidis et al., 2011).

سپس پودر حاصله به همراه هریک از بافرها به مدت 12 ساعت بر روی همزن به‌خوبی ترکیب شدند. همزدن نه تنها موانع سلولی را بر می‌دارد، بلکه سبب برهم خوردن تجمعات روغنی، کاهش اندازه ذرات و افزایش تحرک آنها در طی استخراج و در نتیجه انتشار بهتر به درون حلال می‌شود. البته برخی محققان معتقدند که افزایش هم زدن تنها در مراحل اولیه سبب افزایش کارایی می‌شود و پس از مدتی اثر معکوس دارد (Nikiforidis et al., 2011). لازم به ذکر است که خیساندن نمونه قبل از آغاز استخراج نیز می‌تواند سبب نفوذ آب به درون شبکه سلولی و تسهیل استخراج شود. همچنین افزایش نسبت پودر به حلال، تعداد دفعات شستشو و مدت زمان استخراج می‌تواند بازده عصاره‌گیری را بهبود دهد (Nikiforidis et al., 2014). به‌علاوه، گزارش شده است که استفاده از سیستم آبی همراه با آنزیم می‌تواند کارایی استخراج اجسام روغنی را به حدود 84/5% برساند (Chen & Ono, 2010). همانگونه که در شکل 1-ج مشخص است ذرات روغنی استخراج شده با استفاده از بافر فسفات پایدارتر بوده و حالت تعلیق خود را درون حلال حفظ کرده‌اند. در حالیکه ذرات روغنی استخراج شده توسط آب مقطر با هم ادغام شده و در سطح فوقانی حلال تجمع یافته‌اند. این مطلب توسط میکروسکوپ نوری نیز تأیید گردید. به‌طوریکه علیرغم نزدیکی و تراکم بالای ذرات روغنی در بافر فسفات، استقلال و فاصله ذرات از هم حفظ شده است (شکل 2-ب). اما ذرات روغنی استخراج شده با آب مقطر در هم ادغام شده و قطرات بزرگی از چربی را ساخته‌اند (شکل 2-ج).

دهم حجم بافر اولیه در بافر اوره 9 مولار (pH= 7/5) به مدت 10 دقیقه هم زده شد. این مرحله حداقل 3 مرتبه صورت گرفت تا پروتئین‌های غیراختصاصی و نامحلول غیرغشایی از اجسام روغنی جدا شوند و در هر بار لایه کرمی با استفاده از سانتریفوژ بازیابی شده و در 4 درجه سانتی‌گراد ذخیره گردید. میزان پروتئین کل عصاره‌های استخراج شده با استفاده از دستگاه نانودراپ در 280 نانومتر قرائت گردید.

بررسی میکروسکوپی

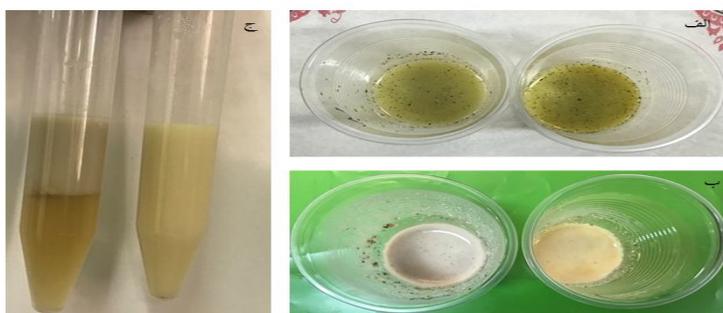
پس از استخراج اجسام روغنی و انجام سانتریفوژ، لایه کرمی و حلال هر عصاره با میکروسکوپ نوری بررسی گردید. برای این منظور یک قطره از نمونه را بر روی شیشه لام قرار داده و به‌خوبی ترکیب کرده تا یکنواخت گردد. سپس حضور ذرات روغنی با بزرگنمایی 40 بررسی گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

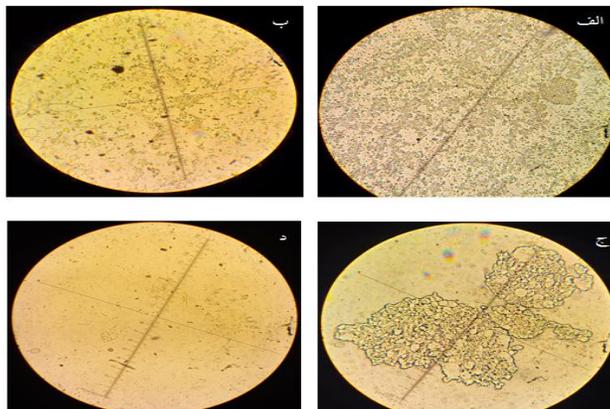
آزمون‌ها با سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه 16) انجام گرفت. سطح معنی‌داری در تمام آزمون‌ها 0/05 در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه استخراج ذرات روغنی کلزا با استفاده از دو حلال بافر فسفات و آب مقطر در شرایط کاملاً ثابت آغاز گردید (شکل 1-الف) اما نتایج به‌دست آمده با این دو حلال کاملاً متفاوت بود (شکل 1-ب). از آنجاکه این روش مبتنی بر انتشار روغن به حلال است، دانه‌ها پودر شده تا حداکثر تماس بین روغن و حلال برقرار شود. دیواره سلولی گیاهان دارای منافذی به قطر 20 تا 80 نانومتر است که اجازه عبور مولکول‌هایی به جرم 9 کیلودالتون را از پلاسما دوسما



شکل 1- استخراج ذرات روغنی کلزا با استفاده از روش آبی. الف) شرایط یکسان عصاره‌گیری با بافر فسفات (راست) و آب مقطر (چپ). ب) تفاوت رنگ عصاره استخراج شده توسط بافر فسفات (راست) و آب مقطر (چپ). ج) تفاوت پایداری ذرات روغنی استخراج شده توسط بافر فسفات (راست) و آب مقطر (چپ).



شکل 2- تصویر میکروسکوپی دو بخش روغنی و حلال عصاره‌ها بعد از اعمال سانتریفوژ. الف) بخش روغنی و ب) آبی عصاره استخراج شده با بافر فسفات، ج) بخش روغنی و د) آبی استخراج شده با آب مقطر.

20% کارایی تفکیک را افزایش داد (Nikiforidis *et al.*, 2014; Matsumura *et al.*, 2017).

استخراج آبی اجسام روغنی اولین بار توسط Rhee و همکاران در سال 1972 توصیف شد. اگرچه کارایی این روش نسبت به استفاده از حلال‌های آلی کمتر می‌باشد اما محققان در سال‌های اخیر توانسته‌اند با بهینه‌سازی و کنترل شرایط به کارایی حدود 99% دست یابند. به‌طور کلی این روش متأثر از عوامل مختلفی از جمله نسبت حلال به مواد، زمان و دمای استخراج و نیز عوامل موثر در استخراج پروتئین همچون دما، pH و نمک است (Nikiforidis *et al.*, 2014).

براساس نتایج حاصل از این مقاله استخراج اجسام روغنی با استفاده از بافر فسفات کارایی و پایداری بیشتری دارد. با این حال تعدادی از مقالات (Millichip *et al.*, 1996; Jolivet *et al.*, 2012; Adams *et al.*, 2012; Shen *et al.*, 2006) از آب مقطر به‌عنوان حلال استفاده نموده‌اند. همچنین در مقاله‌ای از بافر تریس (500 میلی‌مولار، pH6.8) به‌عنوان حلال استفاده شده است تا میزان پروتئین‌های پس‌زمینه را کاهش دهند (Su *et al.*, 2018). چراکه مطابق بررسی‌های منتشر شده پروتئین‌های متصل به پروتئین‌های غشایی اگرچه تأثیری در اندازه ذرات روغنی ندارند اما می‌توانند سبب افزایش تجمع ذرات روغنی در اثر افزایش (منفی) پتانسیل زتا و میانگین‌های آبگریز با دیگر پلی‌پپتیدها شوند (Matsumura *et al.*, 2017).

اگرچه در اغلب موارد، استخراج در دمای بالاتر از 50 درجه، به‌دلیل تجزیه پروتئین‌ها با کاهش بازده همراه است (Nikiforidis *et al.*, 2014)، اما مطالعاتی بر روی دما و pH موثر بر پایداری اجسام روغنی نشان داده است که حرارت بین 30 تا 90 درجه تأثیری بر پایداری اجسام روغنی ندارد اما رابطه مستقیمی بین تغییر pH و پایداری اجسام روغنی وجود دارد. بطوریکه اجسام روغنی در pH 2

تجمع اجسام روغنی می‌تواند نشان‌دهنده عدم حضور و یا عدم کارایی پروتئین‌های غشایی باشد. چراکه دافعه الکتروستاتیک و ممانعت فضایی حاصل از پروتئین‌های غشایی عامل اصلی پایداری ذرات روغنی است. یکی از مهمترین عوامل در پایداری پروتئین‌ها pH است. در pH نزدیک به نقطه ایزوالکتریک پروتئین‌های غشایی، بارهای منفی سطح این پروتئین‌ها خنثی شده و در نتیجه اجسام روغنی به‌دلیل تضعیف دافعه الکتروستاتیک تجمع می‌یابند. بدین ترتیب استفاده از pH قلیایی بهتر از pHهای اسیدی و یا خنثی برای تخلیص است و بافر فسفات بدلیل قابلیت حفظ pH و جلوگیری از اسیدی شدن بیش از حد عصاره می‌تواند ذرات روغنی پایداری را استخراج کند (Sukhotu *et al.*, 2014). از طرفی در محیط‌های قلیایی حلالیت پروتئین‌های گیاهی بیشتر است و لذا سبب بهبود استخراج می‌شود. براساس نتایج حاصل از نانودراپ، میزان پروتئین استخراج شده با استفاده از بافر فسفات دو برابر بیشتر از بافر آبی بود ($p < 0/01$).

همچنین مقایسه نتایج میکروسکوپی نشان می‌دهد که تراکم ذرات روغنی استخراج شده با استفاده از بافر فسفات بیشتر است و در واقع حجم بیشتری از ذرات روغنی با استفاده از این بافر استخراج شده‌اند. این مطلب براساس شاخص کرمی نیز قابل دریافت بود. چراکه پس از سانتریفوژ عصاره‌ها، حجم لایه کرمی ایجاد شده توسط بافر فسفات دو برابر بیشتر از لایه کرمی آب مقطر بود ($p < 0/01$).

با این حال همانگونه که در تصاویر 2- ب و د مشخص است، تفکیک اجسام روغنی از حلال آب مقطر بهتر از بافر فسفات صورت گرفته است چراکه ذرات روغنی کمتری در بخش حلال دیده می‌شود. این امر می‌تواند بدلیل حجم بالای ذرات استخراج شده توسط بافر فسفات و دافعه موجود در بین آنها باشد. بر این اساس می‌توان با استفاده از اولتراسانتریفوژ و نیز ایجاد شیب ساکارز تا غلظت نهایی

تخلیص اجسام روغنی را ندارد. در حالیکه در استخراج آبی، تنها زمانی اجسام روغنی به حلال وارد می‌شوند که ابتدا پروتئین‌های غشایی به حلال انتشار پیدا کرده و مسیر را برای خروج روغن از گیاه فراهم کنند. بنابراین رابطه مستقیمی بین استخراج پروتئین غشایی و اجسام روغنی وجود و باید تمام شرایط استخراج جهت کاهش آسیب به پروتئین‌های غشایی بهینه شود. در مجموع، بافر فسفات قابلیت حفظ pH، اسمولاریتی و غلظت یون‌ها را دارد. از طرفی این بافر ایزوتونیک و غیرسمی است و بخصوص زمانیکه با 0/33 مولار ساکارز ترکیب شود می‌تواند به دلیل چگالی بالا کارایی تخلیص و جداسازی ذرات از حلال را افزایش دهد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق توسط پژوهشکده فناوری های همگرای دانشگاه تهران (به شماره D0022) مورد حمایت قرار گرفته است. با تشکر فراوان از خانمها دکتر مهرزاد احمدی، دکتر فریبا ابویی و دکتر فریبا رفیعی و جناب آقای مهندس مهدی زارعی.

نیز بزرگتر مساوی 6 پایدار هستند اما در محدوده 3 تا 5 ناپایدارند. در حقیقت در pH نزدیک به نقطه ایزوالکتریک پروتئین‌های غشایی، اجسام روغنی به دلیل تضعیف دافعه الکتروستاتیک تجمع می‌یابند. همچنین حضور نمک‌هایی مانند کاتیون‌ها می‌تواند بار منفی موجود بر سطح اجسام روغنی را خنثی کرده و سبب تجمع آنها بشود. البته این تجمع قابل بازگشت است. به دلیل اهمیت میانکنش‌های الکتروستاتیک در پایداری، تغییر شبکه بار سطحی می‌تواند پایداری را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین عوامل مختلفی در جهت بهبود این شبکه استفاده شده‌اند به‌عنوان نمونه پکتین، صمغ زانتان، SDS و کاراگینان. حضور سورفاکتانت‌ها نیز نه تنها سبب افزایش دافعه الکتروستاتیک می‌شود بلکه میانکنش‌های آبگریز پروتئین‌های سطح ذرات را بر هم می‌زند (Sukhotu et al., 2014).

نتیجه گیری

کلید استخراج اجسام روغنی، پروتئین‌های غشایی آن‌ها می‌باشد. در روغن کشتی با حلال‌های آلی، پروتئین‌ها به همراه کربوهیدرات و فیبرها درون کنجاله باقی می‌مانند و در نتیجه این روش قابلیت

منابع

- Adams G. G., Imran S., Wang S., Mohammad A., Kok M. S., Gray D. A., Channell G. A. & Harding S. E., 2012, Extraction, isolation and characterisation of oil bodies from pumpkin seeds for therapeutic use. *Food Chemistry*, 134(4), 1919-1925.
- Bhatla S. C., Kaushik V. & Yadav M. K., 2010, Use of oil bodies and oleosins in recombinant protein production and other biotechnological applications. *Biotechnology Advances*, 28(3), 293-300.
- Cahoon E. B. & Schmid K. M., 2008, Metabolic engineering of the content and fatty acid composition of vegetable oils. *Advances in Plant Biochemistry and Molecular Biology*, 1(C), 161-200.
- Chen Y. & Ono T., 2010, Simple extraction method of non-allergenic intact soybean oil bodies that are thermally stable in an aqueous medium. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(12), 7402-7407.
- Iwanaga D., Gray D. A., Fisk I. D., Decker E. A., Weiss J. & McClements D. J., 2007, Extraction and characterization of oil bodies from soy beans: a natural source of pre-emulsified soybean oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8711-8716.
- Jolivet P., Tailliant K., Boulard C., Nesi N. & Chardot T., 2006, Purification and protein composition of oil bodies from Brassica napus seeds. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 13(6), 426-430.
- Matsumura Y., Sirison J., Ishi T. & Matsumiya K., 2017, Soybean lipophilic proteins — Origin and functional properties as affected by interaction with storage proteins. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 28 120-128.
- Millichip M., Tatham A. S., Jackson F., Griffiths G., Shewry P. R. & Stobart A. K., 1996, Purification and characterization of oil-bodies (oleosomes) and oil-body boundary proteins (oleosins) from the developing cotyledons of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Biochemical Journal*, 314(1), 333-337.
- Miquel M., Nesi N., Paris N., Larré C., Quinsac A., Savoie R., Lanoisellé J.-L., Jolivet P. & Chardot T., 2011, A continuum of research projects to improve extraction of oil and proteins in oilseed plants. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 18(3), 168-172.
- Murphy D. J., 2001, The biogenesis and functions of lipid bodies in animals, plants and microorganisms. *Progress in Lipid Research*, 40(5), 325-438.
- Nikiforidis C., Karkani O. A. & Kiosseoglou V., 2011, Exploitation of maize germ for the preparation of a stable oil-body nanoemulsion using a combined aqueous extraction-ultrafiltration method. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1122-1127.
- Nikiforidis C. V., Matsakidou A. & Kiosseoglou V., 2014, Composition, properties and potential food applications of natural emulsions and cream materials based on oil bodies. *RSC Advances*, 4(48), 25067-25078.

- Nikiforidis C. V. & Scholten E., 2015, High internal phase emulsion gels (HIPE-gels) created through assembly of natural oil bodies. *Food Hydrocolloids*, 43 283-289.
- Peng C.-C., Lin I.-P., Lin C.-K. & Tzen J. T. C., 2003, Size and stability of reconstituted sesame oil bodies. *Biotechnology Progress*, 19(5), 1623-1626.
- Schwager C., Kull S., Krause S., Schocker F., Petersen A., Becker W.-M. & Jappe U., 2015, Development of a novel strategy to isolate lipophilic allergens (*oleosins*) from peanuts. *PloS one*, 10(4), e0123419.
- Shen Z., Wijesundera C. & Ye J.-H., 2012, Effect of seed heat-treatment on the oxidative stability of canola oil body emulsions. *Food and Nutrition Sciences*, 3(07), 981.
- Sukhotu R., Shi X., Hu Q., Nishinari K., Fang Y. & Guo S., 2014, Aggregation behaviour and stability of maize germ oil body suspension. *Food Chemistry*, 164 1-6.
- Wang G.-Y., Chi Z., Song B., Wang Z.-P. & Chi Z.-M., 2012, High level lipid production by a novel inulinase-producing yeast *Pichia guilliermondii* Pcla22. *Bioresource Technology*, 124 77-82.
- Zweytick D., Athenstaedt K. & Daum G., 2000, Intracellular lipid particles of eukaryotic cells. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Reviews on Biomembranes*, 1469(2), 101-120.



The importance of solvent in the aqueous extraction of oil bodies from rapeseed

F. Saadat¹, S. H. Razavi^{2*}, H. Alizadeh³

Received: 2018.09.02

Accepted: 2019.04.04

Introduction: Oil plants store energy in the form of neutral lipids in the organelles called oil bodies. These organelles save triacylglycerol until seed germination. In recent years, the oil bodies have been considered as an oil/water emulsion in the pharmaceutical, food, and cosmetic industries. These organelles are also effective tool for purifying, stabilizing and delivery of biotechnology products. Aqueous extraction processing (AEP) is the most common method for oil body extraction. Despite all advantages compared to organic solvent extraction, the yield of AEP still needs to be optimized. Therefore, this study surveys the efficacy of two solvents, phosphate buffer and distilled water in the oil bodies' extraction from rapeseed.

Materials and methods: *Brassica napus* L. seeds were obtained from seed and plant improvement institute, Iran. To compare the efficacy of solvents, 0.1 M phosphate buffer (pH 7.5) and distilled water were used for extraction. The ground rapeseed was suspended in the buffers in a ratio of 1:10 (w/v) and stirred for 12 hours at room temperature. This step was repeated three times. Then, the extract was centrifuged at 10,000 g for 15 minutes at 4 ° C. The floating layer was carefully removed and dissolved again in the initial solvent and the pH was adjusted to 8.5 to precipitate the deflated proteins. Finally, the cream layer was retrieved using centrifuges and one-tenth of the initial buffer volume was applied to the 9 M urea buffer (pH 7.5) for 10 minutes to separate non-specific proteins from oil bodies. The purified oil-bodies were monitored under light microscopy.

Results and discussion: According to the microscopic and macroscopic results, the stability of oil particles and efficiency of extraction would be higher by phosphate buffer due to maintaining a constant alkaline pH during the extraction. Moreover, the presence of different salts in the phosphate buffer increases the purification yield up to twice times as a result of providing osmotic pressure and increasing solubility of membrane proteins. These results emphasize the importance of membrane proteins on the formation and stabilization of oil bodies.

Keywords: Constancy, Emulsifier, Membrane proteins, Optimization, Phosphate buffer

1 Ph.D, Agricultural Biotechnology, University of Tehran
2. Professor, Food Science and Technology, University of Tehran
3. Professor, Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran
(*Corresponding Author Email: srazavi@ut.ac.ir)



بهینه‌سازی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای پروتئین نخود کاجان (*Cajanus cajan*) طی هیدرولیز با آنزیم پپسین به کمک روش سطح پاسخ

الهام رنجبر ندامانی¹ - علیرضا صادقی ماهونک^{2*} - محمد قربانی² - شارلوت جاکوبسن³ - وحید خوری⁴

تاریخ دریافت: 1397/09/14

تاریخ پذیرش: 1398/02/11

چکیده

در این پژوهش، از روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی و مدل‌سازی شرایط هیدرولیز پروتئین‌های نخود کاجان (*Cajanus cajan*) (لپه) توسط پپسین و تولید پروتئین‌های هیدرولیز شده با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای استفاده شد. هیدرولیز در نسبت آنزیم به سوبسترا 1، 2 و 3 درصد (وزنی - وزنی)، دماهای 30، 35 و 40 درجه سانتی‌گراد و زمان‌های 2، 3/5 و 5 ساعت انجام، و توانایی مهار رادیکال آزاد 2 و دی فنیل 1 پیکریل هیدرازیل، قدرت احیاءکنندگی، مهار رادیکال هیدروکسیل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل به‌عنوان متغیرهای وابسته بررسی شد. شرایط بهینه هیدرولیز برای دستیابی به بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، نسبت آنزیم به سوبسترا 2/15 درصد، دمای 39/9 درجه سانتی‌گراد و زمان 4/52 ساعت بود. پروتئین هیدرولیز شده دارای مقادیر زیادی از آمینواسیدهای آنتی‌اکسیدان گلوتامیک اسید و فنیل آلانین بود و از نظر وجود آمینواسیدهای ضروری دارای کیفیت تغذیه‌ای مناسبی بود. نتایج بررسی توزیع وزن مولکولی (به روش FPLC) نشان داد که وزن مولکولی بیشتر پپتیدهای تولید شده کمتر از 10 کیلودالتون است که بیشترین تأثیر را در فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند. نتایج نشان داد که از پروتئین‌های هیدرولیز شده نخود کاجان توسط پپسین می‌توان به‌عنوان آنتی‌اکسیدان طبیعی و همچنین به‌عنوان منبع آمینواسیدهای ضروری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین هیدرولیز شده، پپسین، آنتی‌اکسیدان، *Cajanus cajan*، پپتیدهای زیست‌فعال

مقدمه

در نتیجه بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز می‌تواند به تولید پروتئین‌های هیدرولیز شده با ویژگی‌های زیستی و عملکردی بهتر کمک کند. پپسین یک اسپارتریک اندوپپتیداز از خانواده آنزیم‌های گوارشی با عملکرد اختصاصی گسترده است که پیوندهای پپتیدی را ترجیحاً در محل آمینواسیدهای آبگریز و آروماتیک می‌شکند. این آنزیم اساساً برای هیدرولیز غیراختصاصی پروتئین‌ها و پپتیدها در محیط اسیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jurado et al., 2012).

نخود کاجان (*Cajanus cajan*) از حبوبات چندساله زیرخانواده Papilionoideae است که بیشتر در کشورهای مناطق استوایی نیمه خشک پرورش داده می‌شود (Nix et al., 2015). در ایران این محصول در آذرشهر استان آذربایجان شرقی کشت می‌شود و از آن لپه تهیه می‌شود. کمبود پروتئین در رژیم غذایی افراد بسیار رایج است. در صورت دشواری دسترسی به منابع حیوانی، پروتئین‌های گیاهی منبع اصلی تأمین پروتئین برای انسان‌ها هستند. در بین این پروتئین‌ها، نخود کاجان که دارای حدود 25% پروتئین در دانه است، یک غله

تولید پروتئین‌های هیدرولیز شده با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و زیست‌فعالی از منابع گوناگون به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است (Li et al., 2017; Lacroix et al., 2017; Park et al., 2016; al., 2017). یکی از روش‌های تولید پروتئین‌های هیدرولیز شده استفاده از آنزیم‌های پروتئولیتیک است، که واکنش تجزیه پروتئین را در شرایط ملایم‌تر و قابل کنترل‌تر انجام می‌دهند. میزان فعالیت این آنزیم‌ها به غلظت آنزیم، مقدار آنزیم، pH، دما و سوبسترا وابسته است (Rakte and Nanjwade, 2014).

1 و 2 - به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه شیمی مواد غذایی، دانشگاه

علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

3 - استاد، گروه بیواکتیو، دانشگاه صنعتی دماهرک.

4 - دانشیار، گروه فارماکولوژی، دانشگاه علوم پزشکی گرگان.

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

روزانه، از فواید سلامتی بخش ایجاد شده در اثر هیدرولیز پروتئین‌های آن نیز استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

نخود کاجان (لپه) از آذرشهر آذربایجان شرقی، ایران خریداری شد. آنزیم پپسین با فعالیت 250 واحد در میلی‌گرم از شرکت سیگما- آلدریج و سایر مواد شیمیایی از شرکت مرک با درجه آنالیتیکی تهیه شد.

بررسی حالیت پروتئین‌های آرد نخود کاجان در pHهای مختلف

بیشترین و کمترین میزان حالیت پروتئین‌های نخود کاجان به روش Kinsella (1976) انجام شد. ابتدا دوازده سوسپانسیون به نسبت 1:20 (وزنی - حجمی) آرد نخود کاجان در آب مقطر تهیه شده و سوسپانسیون‌ها پس از یک ساعت مخلوط شدن در دمای محیط توسط هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک یک نرمال به pHهای 1 تا 12 رسانده شده و 30 دقیقه در دمای ثابت هم زده شدند. سپس به مدت 30 دقیقه در دمای محیط و 6000 دور دقیقه سانتریفوژ شدند و میزان پروتئین محلول در سوپرناتانت حاصل به روش برادفورد اندازه‌گیری شد.

استخراج پروتئین

استخراج پروتئین به روش Akintayo و همکاران (1999) انجام گرفت. ابتدا سوسپانسیون آرد نخود کاجان (10:1 وزنی/ حجمی) با pH=11 (سدیم هیدروکسید 1 نرمال، براساس نتیجه آزمون حالیت پروتئین) تهیه شد. این سوسپانسیون به مدت یک ساعت در دمای محیط هم زده شد، یک شب در 4 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از آن به مدت 20 دقیقه با سرعت 6000 دور در دقیقه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. pH سوپرناتانت به دست آمده توسط هیدروکلریک اسید 1 نرمال روی 3 تنظیم (بر اساس نتیجه آزمون حالیت پروتئین) و مجدداً در شرایط مشابه سانتریفوژ شد. رسوبات حاصل توسط خشک‌کن انجمادی به پودر تبدیل و تا زمان مصرف در 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

تولید پروتئین هیدرولیز شده توسط پپسین

سوسپانسیون پروتئین (5% وزنی/ حجمی) با pH=2 (با استفاده از اسید کلریدریک 1 نرمال) تهیه شد. پارامترهای هیدرولیز شامل نسبت

بسیار مهم بوده و رتبه ششم را در بین غلات تولید شده در جهان دارد و در نتیجه یکی از منابع اصلی رژیم غذایی مردم جهان است (Nix *et al.*, 2015). این دانه سرشار از نشاسته، پروتئین، کلسیم، منیزیم، فیبرخام، چربی و عناصر جزئی و مواد معدنی است. جدا از ارزش تغذیه‌ای زیاد، این دانه به عنوان یک داروی سنتی در چین، فیلیپین و برخی از کشورهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحقیقات پزشکی بر روی این گیاه نشان می‌دهد که نخود کاجان توانایی درمان انواع بیماری‌های انسان از جمله برونشیت، سرفه، ذات‌الریه، عفونت تنفسی، اسهال خونی، اختلالات قاعدگی، زخم، تومورهای شکمی، دندان‌درد و دیابت را دارد (Saxena *et al.*, 2010). مقادیر اسیدهای آمینه آبرگیز در این دانه زیاد است؛ از این رو انتظار می‌رود این گیاه منبع مناسبی برای تولید پروتئین‌های هیدرولیز شده باشد (Solomon *et al.*, 2016).

اکسیداسیون لیپیدها در مواد غذایی یکی از عوامل اصلی مؤثر بر کیفیت نهایی محصول مانند طعم و بو، رنگ، بافت و ارزش تغذیه‌ای است (Pereira *et al.*, 2017) و از این رو در سال‌های اخیر، جلوگیری از واکنش‌های اکسیداسیونی به یک چالش عمده تبدیل شده است (Ghnimi *et al.*, 2017).

روش سطح پاسخ¹ (RSM) یک تکنیک محاسباتی پیچیده برای بهینه‌سازی فرآیند است. این روش از داده‌های ورودی حاصل از آزمایشات برای دستیابی به یک سری معادلات بهره می‌برد و طرح آزمایشی مناسبی تولید می‌کند که دربرگیرنده تمامی متغیرهای مستقل است. در روش RSM تنها زمان کوتاهی برای ارزیابی تمام متغیرها لازم است و در نتیجه کار آزمایشگاهی از نظر زمانی نیز بهینه سازی می‌شود (Khairul Anwar and Mohamed Afzil, 2015).

با وجود تمامی ویژگی‌های مثبت پروتئین‌های نخود کاجان (لپه)، مطالعات مربوط به نخود کاجان بیشتر پیرامون مقدار و کیفیت پروتئین‌های آن و معرفی این محصول به‌عنوان منبع پروتئینی غنی و مناسب بوده است و بررسی ویژگی‌های پروتئین هیدرولیز شده آن به تازگی و همزمان با انجام این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است (Olagunju *et al.*, 2018). در نتیجه هدف از مطالعه حاضر بررسی شرایط بهینه هیدرولیز پروتئین‌های نخود کاجان برای دستیابی به پروتئین‌های هیدرولیز شده با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای مناسب است، تا بتوان یک منبع آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای جدید و مناسب معرفی و علاوه بر کاربرد رایج این دانه به‌عنوان خوراک

بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز به روش سطح پاسخ (RSM)

از روش RSM برای بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز و پیش‌بینی پاسخ‌های مورد مطالعه استفاده شد. طرح مرکب مرکزی (CCD) با 6 تکرار در نقطه مرکزی با 20 تیمار برای ساخت مدل مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای مستقل شامل نسبت آنزیم به سوبسترا (A: درصد)، دما (B: درجه سانتی‌گراد) و زمان (C: ساعت) در سه سطح هم‌فاصله (+1، صفر، -1) (جدول 1) بود.

آنزیم به سوبسترا (1، 2 و 3 درصد وزنی - وزنی)، دما (30، 35 و 40 درجه سانتی‌گراد) و زمان (2، 3/5 و 5 ساعت) بود. واکنش هیدرولیز در شیکر اینکوباتور با سرعت 200 دور در دقیقه انجام گرفت. واکنش هیدرولیز توسط قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب با دمای 85 درجه سانتی‌گراد به مدت 10 دقیقه پایان یافت. سوسپانسیون به مدت 20 دقیقه با سرعت 6000 دور در دقیقه و در دمای محیط سانتریفوژ شد. سوپرناتانت حاصل برای انجام آزمایشات بعدی جمع‌آوری گردید (Meshginfar *et al.*, 2014).

جدول 1- متغیرهای مستقل و مقادیر کدگذاری شده و واقعی آنها

سطوح مورد استفاده برای متغیرها			متغیرهای مستقل
-1	صفر	+1	
1	2	3	A: نسبت آنزیم به سوبسترا (%)
30	35	40	B: دمای هیدرولیز برای آنزیم پیپسین (درجه سانتی‌گراد)
2	3/5	5	C: زمان هیدرولیز (ساعت)

قدرت احیاءکنندگی

هدف از این آزمون برای بررسی قدرت احیاء اتم آهن (III) توسط پروتئین‌های هیدرولیز شده بود. 1 میلی‌لیتر از محلول هیدرولیز شده با 2/5 میلی‌لیتر بافر فسفات (0/2 مولار، pH 6/6) و 2/5 میلی‌لیتر پتاسیم فری سیانید ترکیب شد و به مدت 30 دقیقه در 50 درجه سانتی‌گراد حرارت دید. 2/5 میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید اضافه و به مدت 10 دقیقه در 6000 دور در دقیقه سانتریفوژ شد. در نهایت 2/5 میلی‌لیتر از محلول سطحی با 2/5 میلی‌لیتر آب مقطر و 0/5 میلی‌لیتر کلرید آهن ترکیب و جذب نمونه‌ها در 700 نانومتر اندازه‌گیری شد. جذب بیشتر نشانگر قدرت احیاءکنندگی بیشتر بود (Yildirim *et al.*, 2001).

مهار رادیکال آزاد هیدروکسیل

1 میلی‌لیتر از محلول 1/865 میلی‌مولار 1، 10- فنانترولین به 2 میلی‌لیتر نمونه اضافه و مخلوط گردید. 1 میلی‌لیتر از محلول 1/865 میلی‌مولار سولفات آهن (FeSO₄.7H₂O) به این مخلوط اضافه شد. واکنش با افزودن 1 میلی‌لیتر H₂O₂ (0/03% حجمی - حجمی) آغاز گشت. پس از 60 دقیقه اینکوباسیون در حمام آب 37 درجه، جذب نمونه‌ها در 536 نانومتر خوانده شد. محلول واکنش بدون حضور نمونه به‌عنوان کنترل منفی و محلول واکنش بدون حضور نمونه و H₂O₂ به‌عنوان شاهد انتخاب شد. درصد مهار رادیکال آزاد هیدروکسیل به روش معادله (2) محاسبه گردید (Chi *et al.*, 2015):

متغیرهای وابسته شامل مهار رادیکال آزاد 2 و 2 دی فنیل 1 پیکریل هیدرازیل (DPPH)، قدرت احیاءکنندگی، مهار رادیکال هیدروکسیل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل بود.

آنالیز ترکیبات شیمیایی

درصدهای رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر (برمبنای وزن مرطوب) به روش (AOAC (2005) اندازه‌گیری شد.

بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی**مهار رادیکال آزاد DPPH**

0/1 میلی‌لیتر محلول DPPH (0/1 میلی‌مولار در اتانول 95%) با 0/1 میلی‌لیتر از محلول پروتئین هیدرولیز شده مخلوط و به مدت 60 دقیقه در تاریکی و دمای اتاق نگهداری شد. پیش از پایان زمان 60 دقیقه، نمونه‌ها برای حذف رسوبات به مدت 10 دقیقه با سرعت 5000 دور در دقیقه و دمای محیط سانتریفوژ شدند (50 دقیقه نگهداری و 10 دقیقه سانتریفوژ، مجموعاً 60 دقیقه). جذب نمونه‌ها در 517 نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر خوانده و درصد مهار رادیکال آزاد DPPH به‌صورت معادله (1) محاسبه شد (Farvin *et al.*, 2014):

$$(1) \quad \text{جذب شاهد} \times 100 / (\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}) = (\%) \text{ مهار رادیکال آزاد DPPH}$$

(2)

 $100 \times (\text{جذب کنترل منفی} - \text{جذب شاهد}) /$ $(\text{جذب کنترل منفی} - \text{جذب نمونه}) = (\% \text{ مهار رادیکال هیدروکسیل})$

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

0/1 میلی‌لیتر محلول نمونه با 1 میلی‌لیتر محلول معرف (سولفوریک اسید 0/6 مولار، سدیم فسفات 28 میلی‌مولار و آمونیوم مولیبدات 4 میلی‌مولار) ترکیب شد و به مدت 90 دقیقه در دمای 95 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. جذب نمونه‌ها پس از سرد شدن در 695 نانومتر اندازه‌گیری شد. جذب بیشتر نشان‌دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل بیشتر است (Umayaparvathi *et al.*, 2014).

آنالیز آمینواسید

بررسی ترکیب آمینواسیدی کنسانتره پروتئین و پروتئین‌های هیدرولیز شده پس از هیدرولیز کامل و مشتق‌سازی با استفاده از کیت EZ:faast Amino Acid Kit (فن‌امکس، تورنس، آمریکا) توسط HPLC-MS انجام شد. آزادسازی آمینواسیدها در سیستم تهیه نمونه مایکروویو (مالتیویو 3000، آنتون پار، اتریش) توسط هیدرولیز با هیدروکلریک اسید 6 مولار به مدت 1 ساعت در 110 درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. نمونه‌های هیدرولیز شده خنثی سازی و توسط جاذب استخراج فاز جامد خالص سازی و پیش از تزریق به HPLC-MS مشتق‌سازی شدند. برای این آزمون سیستم HPLC-M شامل Agilent HPLC 1100 (سانتا کلارا، آمریکا) و Agilent Ion Trap MS مورد استفاده قرار گرفت. جداسازی آمینواسیدها در 35 درجه سانتی‌گراد بر روی یک ستون Zebron ZB-AAA با ابعاد $250 \times 3/0$ میلی‌متر (فن‌امکس، تورنس، آمریکا) با گرادیان 68-83% فورات آمونیوم 10 میلی‌مولار در متانول و فورات آمونیوم 10 میلی‌مولار در آب با شدت جریان 0/5 میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. یونیزاسیون مثبت با استفاده از APCL (450 درجه سانتی‌گراد) ایجاد شد. ترکیبات توسط مقایسه با زمان ماندگاری و طیف جرمی مخلوط استاندارد خارجی شناسایی گشتند. به‌منظور کمی‌سازی، منحنی‌های کالیبراسیون تهیه شده و توسط HPLC-MS در شرایط مشابه نمونه‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند.

محاسبه امتیاز شیمیایی

این امتیاز براساس پروفایل آمینواسیدهای ضروری (گرم/گرم) 100/گرم) در یک پروتئین استاندارد که توسط FAO (2011) ارائه شده،

به صورت معادله (3) محاسبه می‌شود (Raftani-Amiri *et al.*, 2016):

(3) آمینواسیدهای ضروری در پروتئین استاندارد / آمینواسیدهای ضروری در پروتئین مورد آزمایش = امتیاز شیمیایی

بررسی توزیع وزن مولکولی به روش FPLC

برای بررسی توزیع وزن مولکولی، از کروماتوگرافی Size exclusion (SEC) با سیستم FPLC ÄTA (آمستردام بیوساینس، سوئد) و ستون Superdex Peptide 10/300GL (جی ای هلثکیر، سوئد) استفاده شد. دمای ستون 25 درجه سانتی‌گراد بود و بافر استای آمونیوم با pH=8 به عنوان فاز متحرک انتخاب گردید. برای هر کدام از نمونه‌های کنسانتره پروتئین و پروتئین هیدرولیز شده با پپسین، 100 میکرولیتر نمونه (5 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر، که از فیلتر 0/2 میکرومتری عبور داده شده بود) به سیستم تزریق گشت و با سرعت 0/25 میلی‌لیتر بر دقیقه جریان یافت. جذب فرکشن‌ها توسط سیستم در طول موج 280 نانومتر اندازه‌گیری شد. سیتوکروم c (12/3 کیلودالتون)، آپروتینین (6/5 کیلودالتون)، گلاسیین 3 (189 دالتون) و گلاسیین 75 (دالتون) به‌عنوان استاندارد مورد استفاده قرار گرفتند (Gringer *et al.*, 2016).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای آنالیز آماری به روش سطح پاسخ از نرم‌افزار Design Expert (نگارش 6,0,2) استفاده شد و آنالیز آماری مدل‌ها و آنالیز واریانس (ANOVA) توسط این نرم‌افزار انجام گرفت. سایر آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شد.

نتایج و بحث

بررسی حلالیت پروتئین‌های آرد نخود کاجان در pH‌های مختلف

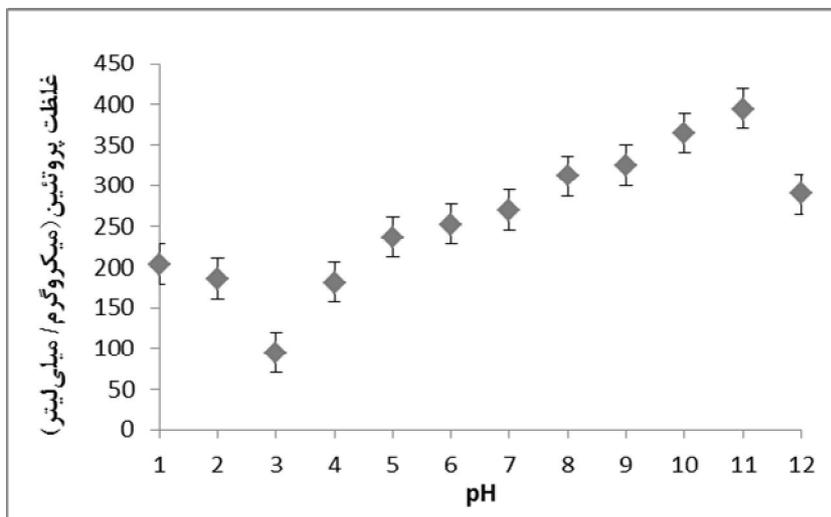
برای انجام فرآیند استخراج پروتئین لازم بود تا pH‌هایی که در آن پروتئین‌های نخود کاجان دارای بیشترین و کمترین میزان حلالیت هستند مشخص شود. به این منظور مقدار پروتئین‌های استخراج شده در دامنه pH بین 1 تا 12 به روش برادفورد اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که در شکل 1 مشاهده می‌شود، کمترین میزان حلالیت پروتئین‌های نخود کاجان در pH=3 یعنی در نقطه ایزوالکتریک آنها بود که در آن بار خالص پروتئین‌ها صفر است و جاذبه الکترواستاتیک

پروتئین موجود در آرد نخود کاجان نشان‌دهنده فرآیند استخراج مناسب است. راندمان استخراج پروتئین از آرد نخود کاجان 25 درصد بود که درصد استخراج قابل توجهی است. کم بودن مقدار چربی موجود در آرد نخود کاجان ($4/21 \pm 0/1$ %) به‌عنوان یک نکته مثبت تلقی می‌شود، زیرا مرحله چربی‌زدایی حذف شده و علاوه بر کاهش مراحل تولید پروتئین هیدرولیز شده، از کاربرد حلال‌های سمی مانند هگزان جلوگیری شده است. این مقدار چربی طی مراحل استخراج پروتئین و هیدرولیز کاهش یافت که به دلیل حذف ترکیبات چرب به همراه پروتئین‌های نامحلول طی سانتریفوژ یا به صورت یک لایه چربی روی سوپرناتانت بود. این امر می‌تواند باعث افزایش پایداری اکسیداتیو در کنسانتره پروتئین و پروتئین هیدرولیز شده شود (Ovissipour *et al.*, 2010).

غلبه دارد و این امر منجر به تجمع و رسوب پروتئین می‌شود. اما بیشترین حلالیت پروتئین‌های نخود کاجان در $pH=11$ بود که بار کلی پروتئین‌ها در این نقطه منفی است و به علت دافعه الکترواستاتیک، حلالیت افزایش می‌یابد (Adebowale & Lawal, 2004). استفاده از این pH ها منجر به افزایش راندمان استخراج پروتئین شد.

آنالیز ترکیبات شیمیایی

مقدار پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر آرد نخود کاجان، کنسانتره و پروتئین هیدرولیز شده در جدول 2 آمده است. آرد نخود کاجان دارای مقادیر قابل توجهی پروتئین (حدود 25% وزن دانه) است که آن را به یک منبع غذایی بسیار مناسب تبدیل می‌کند. درصد پروتئین در کنسانتره 73/85 بود که در مقایسه با مقدار



شکل 1- حلالیت پروتئین‌های نخود کاجان در برابر pH

جدول 2- خصوصیات شیمیایی آرد نخود کاجان، کنسانتره و پروتئین هیدرولیز شده

نام نمونه	پروتئین (%)	چربی (%)	رطوبت (%)	خاکستر (%)
آرد نخود کاجان	21/45±3/2	4/21±0/1	11/35±0/1	2/60±0/0
کنسانتره پروتئین	73/85±2/8	1/87±0/2	5/24±0/1	0/94±0/1
پروتئین هیدرولیز شده	87/30±4/1	0/48±0/1	2/05±0/0	4/69±0/2

*اختلاف مشاهده شده مقادیر هر ستون معنی‌دار بود ($p < 0/05$).

خاکستر پروتئین هیدرولیز شده ($4/69 \pm 0/2$) به دلیل افزودن اسید (هیدروکلریک اسید) برای تنظیم pH طی فرآیند هیدرولیز است (Halim and Sarbon, 2017). کاهش میزان رطوبت پروتئین

افزایش درصد پروتئین در پروتئین هیدرولیز شده ($87/30 \pm 4/1$) به دلیل افزایش حلالیت پروتئین‌ها طی هیدرولیز و حذف سایر ترکیبات توسط سانتریفوژ است. افزایش مشاهده شده در درصد

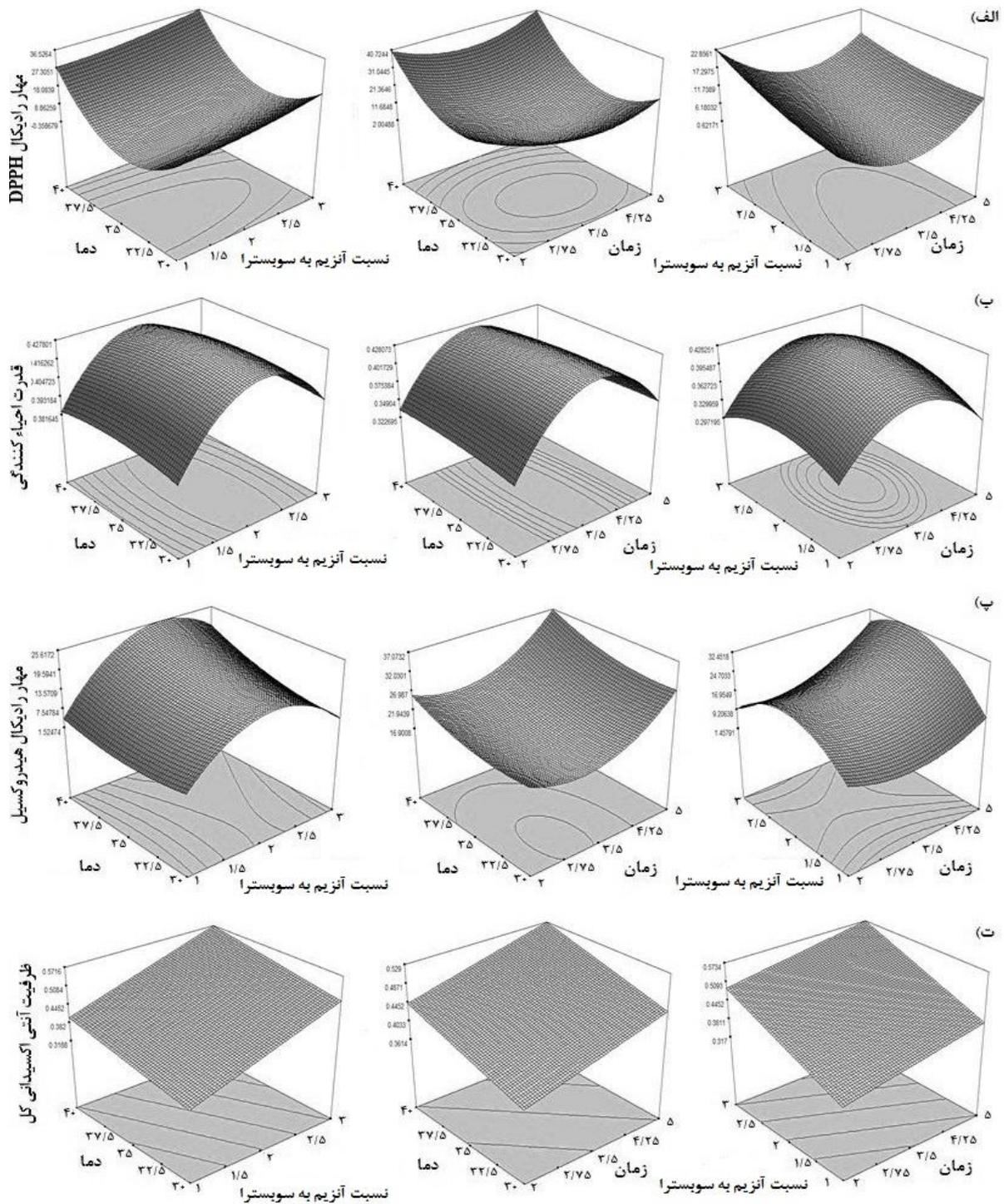
هیدرولیز شده (0/0±2/05%) به دلیل استفاده از فرآیند خشک کردن انجام‌ی برای حذف آب است. نتایج به‌دست آمده مشابه نتایج Ovissipour و همکاران (2010) و Sarbon و Halim (2017) است. بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیز شده نتایج حاصل از انجام آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی برای بیست تیمار پیشنهادی توسط نرم‌افزار، در جدول 3 آمده است.

جدول 3- آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیز شده

تیمار	متغیرهای مستقل			متغیرهای وابسته		
	نسبت آنزیم به سویسترا (%)	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (ساعت)	مهار رادیکال آزاد DPPH (%)	قدرت احیاءکنندگی (700 نانومتر)	مهار رادیکال هیدروکسیل (%)
1	3	40	2	51/2857	0/3	20/0983
2	2	35	3/5	4/894	0/451	18/9769
3	3	40	5	42/4286	0/358	35/8959
4	1	35	3/5	2/032	0/349	5/879
5	2	35	3/5	4/521	0/534	28/4393
6	1	40	2	35/1429	0/321	9/65
7	2	30	3/5	13/8571	0/41	15/451
8	1	40	5	40/024	0/316	10/325
9	1	30	5	15/8571	0/33	9/751
10	3	30	2	35/1429	0/295	10/256
11	2	35	2	9/2857	0/319	13/7572
12	2	35	3/5	1/573	0/351	16/1041
13	2	35	3/5	1/207	0/492	18/2081
14	2	35	3/5	1/047	0/442	14/4447
15	3	35	3/5	8	0/351	5/1041
16	2	35	5	17	0/286	35/948
17	2	40	3/5	30	0/35	25/0867
18	3	30	5	28/2857	0/346	23/5838
19	1	30	2	24/4286	0/274	10/164
20	2	35	3/5	4/9647	0/467	20/3263

جدول 4- معادلات مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار برای هرکدام از آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی

مدل	R ²	F
DPPH آزاد رادیکال % = 3/12 + 4/27A + 8/63B - 1/67C + 1/77A ² + 18/69B ² + 9/90C ² + 0/051AB - 2/13AC + 2/06BC	0/9763	0/0500
قدرت احیاءکنندگی = 0/43 + 6/000A - 1/000B + 0/013C - 0/034A ² - 4/409B ² - 0/082C ² - 2/000AB + 7/250AC - 6/750BC	0/6056	0/4350
مهار رادیکال هیدروکسیل % = 18/77 + 4/92A + 3/19B + 5/16C - 12/31A ² + 2/47B ² + 7/05C ² + 2/76AB + 3/61AC + 0/44BC	0/8056	0/3454
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل = 0/45 + 0/085A + 0/041B + 0/043C	0/4059	0/0648



شکل 2- نمودارهای سطح پاسخ الف) مهار رادیکال آزاد DPPH (%، ب) قدرت احیاء کنندگی (جذب در 700 نانومتر)، پ) مهار رادیکال هیدروکسیل (% و ت) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (جذب در 596 نانومتر). پارامترهای مورد بررسی: نسبت آنزیم به سویسترا (%، دما (درجه سانتی‌گراد) و زمان (ساعت)

و مدل ارائه شده تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بهینه‌سازی تولید پروتئین هیدرولیز شده از سیوس برنج با استفاده از آلكالاز توسط سیلیرادیت و همکاران (2010) انجام شد. در مطالعه آنها دما و نسبت آنزیم به سوبسترا تأثیر معنی‌داری بر میزان تولید پروتئین هیدرولیز شده داشتند اما اثر زمان معنی‌دار نبود. Tan و Yu (2017) هیدرولیز آنزیمی تولید پروتئین‌های هیدرولیز شده آنتی‌اکسیدان از کبد خوک به روش اولتراسوند را بهینه‌سازی نمودند. در مطالعه آنها، تمام پارامترهای مورد بررسی اثر معنی‌داری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشتند. شرایط بهینه برای بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی شامل نسبت آنزیم به سوبسترا 1/4٪، دمای 55/5 درجه سانتی‌گراد و pH اولیه 10/15 بود. در این شرایط، درجه هیدرولیز، مهار رادیکال DPPH، توانایی گیرندگی یون آهن و قدرت احیاءکنندگی به ترتیب 24/12٪، 79٪، 98/18٪ و 0/601 واحد جذب بود. Olagunju و همکاران (2018) مقادیر فعالیت مهار رادیکال DPPH و رادیکال هیدروکسیل را برای نخود کاجان به ترتیب 34/42٪ و 8/68٪ گزارش نمودند که کمتر از مقادیر به دست آمده در مطالعه حاضر است (به ترتیب 58/49٪ و 38/2٪). علت این تفاوت آشکار در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز برای رسیدن به بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی است.

بهینه‌سازی و تأیید مدل

پس از به دست آمدن معادلات مدل برای هر کدام از آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی، بهینه‌یابی توسط نرم‌افزار برای انتخاب شرایط بهینه هیدرولیز با بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی انجام شد. نقطه پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای آنزیم پپسین نسبت آنزیم به سوبسترا 2/15، دمای 39/99 و زمان 4/52 ساعت بود. برای تأیید اعتبار مدل، آزمایشات جداگانه‌ای انجام شد و مقادیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی به دست آمده تأییدکننده مدل بودند. جدول 5 مقادیر به دست آمده در بهینه‌سازی و تأیید مدل را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، حتی در حالتی که مقادیر به دست آمده کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده است، این مقدار در دامنه مقادیر به دست آمده برای فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها است. در مطالعه Halim و Sarbon (2017) نیز نتایج به دست آمده در برخی موارد کمتر از نتایج پیش‌بینی شده بود، اما نتیجه به دست آمده در دامنه نتایج حاصل در طی بهینه‌سازی بود. ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی پروتئین‌های هیدرولیز شده وابسته به نوع آنزیم، شرایط هیدرولیز و منبع پروتئینی است. هیدرولیز

میزان عدم برازش برای این چهار آزمون به ترتیب 0/500، 0/4350، 0/3454 و 0/0648 بود که نشان‌دهنده تناسب مدل با داده‌های آزمایشی است. در تحقیقی که توسط Meshginfar و همکاران (2014) به روش مشابه انجام گرفت، مقادیر R^2 برای آزمون مهار رادیکال DPPH بیش از 0/95 بود (0/983). مدل به دست آمده برای تمامی آزمون‌ها به غیر از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از نوع درجه دو بود (جدول 4). میزان R^2 برای آزمون‌های مهار رادیکال آزاد DPPH، قدرت احیاءکنندگی، مهار رادیکال هیدروکسیل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل به ترتیب 0/9763، 0/6056، 0/8056 و 0/4059 بود که به جز آزمون ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، توانایی مناسب مدل را برای پیش‌بینی تأثیر شرایط هیدرولیز بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیز شده نشان داد.

نمودارهای مربوط به آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی در شکل 2 نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در بخش الف، در دمای 35 درجه سانتیگراد کمترین میزان مهار رادیکال DPPH مشاهده شد و در دو سمت دامنه دمایی مورد استفاده، مهار رادیکال DPPH افزایش یافت. همچنین میزان این فعالیت در دمای 40 درجه بیشتر از دمای 30 درجه بود. با افزایش نسبت آنزیم به سوبسترا، مهار رادیکال DPPH افزایش یافت. تأثیر زمان بر مهار رادیکال DPPH مشابه تأثیر دما بوده و با یا نزدیک شدن به کمترین و بیشترین زمان مورد استفاده، مهار رادیکال DPPH افزایش یافت. نسبت آنزیم به سوبسترا و دما، پارامترهای دارای اثر معنی‌دار ($P < 0/05$) بر میزان توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH بودند اما تغییر زمان تأثیر معنی‌داری نداشت ($P > 0/05$). گرچه در مورد قدرت احیاءکنندگی (بخش ب)، بیشترین فعالیت پیرامون نقطه مرکزی دیده شد، اما هیچکدام از پارامترهای مورد بررسی اثر معنی‌داری بر قدرت احیاءکنندگی نداشتند ($P > 0/05$). نسبت آنزیم به سوبسترا و زمان اثر معنی‌داری ($P < 0/05$) بر مهار رادیکال هیدروکسیل داشته و در دو سمت دامنه زمانی، و در پیرامون نقطه مرکزی نسبت آنزیم به سوبسترا، بیشترین فعالیت مهارکنندگی مشاهده گردید (بخش پ). در بخش ت، همانگونه که مشاهده می‌شود، مدل ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از نوع درجه یک بوده و تنها نسبت آنزیم به سوبسترا اثر معنی‌داری در این آزمون داشت ($P < 0/05$). به طوری که با افزایش نسبت آنزیم به سوبسترا، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل افزایش یافت.

در بهینه‌سازی فرآیند هیدرولیز، عوامل مختلفی به عنوان عوامل مؤثر بفرآیند در نظر گرفته می‌شوند. براساس نوع ماده اولیه و پارامترهای انتخابی، و همچنین نوع آزمایش مورد بررسی، نتایج نهایی

جزئی می‌تواند به مقدار زیادی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی پروتئین‌های هیدرولیز شده را بهبود ببخشد (Jeevanthi et al., 2015).

جدول 5- مقادیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی به دست آمده در بهینه‌سازی و تأیید مدل

آزمون	مقادیر پیش بینی شده	مقادیر به دست آمده
مهار رادیکال آزاد DPPH (%)	20/65	58/49±0/1
قدرت احیاءکنندگی (700 نانومتر)	0/38	0/31±0/2
مهار رادیکال هیدروکسیل (%)	26/56	38/2±0/1
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (695 نانومتر)	0/52	0/63±0/1

مقادیر مناسبی از آمینواسیدهای آبریز موجب انحلال راحت‌تر پپتیدها در روغن و واکنش با رادیکال‌های آبریز و اسیدهای چرب چند غیراشباع می‌شود (Yu and Tan, 2017). این ویژگی در صورت استفاده از پپتیدهای آنتی‌اکسیدان در امولسیون‌های روغن در آب اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. مقدار آمینواسیدهای آروماتیک در پروتئین هیدرولیز شده 57/04 میلی‌گرم بر گرم بود. آمینواسیدهای آروماتیک می‌توانند با انتقال پروتون به رادیکال‌ها، آنها را پایدار ساخته و همچنین از طریق رزونانس، به پایداری خود پپتید نیز کمک کنند. هیستیدین، تیروزین، متیونین و لیزین به‌عنوان آمینواسیدهای آنتی‌اکسیدان گزارش شده‌اند (Ng et al., 2013) پس از هیدرولیز، میزان هیستیدین به شکل معنی‌داری ($p < 0/05$) افزایش، اما میزان تیروزین، متیونین و لیزین کاهش یافت. به علاوه آمینواسیدهای آبریز نیز می‌توانند موجب افزایش توانایی آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیز شده بشوند (Halim and Sarbon, 2017; Queiroze et al., 2017). از طرف دیگر مقدار فنیل‌آلنین که مهارکننده رادیکال‌های آزاد است (Kumar et al., 2011) به شکل معنی‌داری ($p < 0/05$) افزایش یافت. گلوتامیک اسید، آسپارتیک اسید و آرژنین به ترتیب بیشترین مقدار را در ساختار آمینواسیدی پروتئین هیدرولیز شده تشکیل دادند. گلوتامیک اسید یک گیرنده فلز و همچنین دهنده هیدروژن است که می‌تواند نقش مؤثری در فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشته باشد. هیدرولیز به شکل معنی‌داری ($p < 0/05$) مقدار این آمینواسید را افزایش داد. به طور کلی هیدرولیز پروتئین به شکل قابل توجهی نسبت آمینواسیدها را تغییر داد. حاصل این تغییر ساختار آمینواسیدی در نهایت به نحوی بود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی مطلوبی تولید نمود. بخشی از کاهش میزان آمینواسیدهای اندازه‌گیری شده را می‌توان به فرآیند آماده‌سازی پیش از اندازه‌گیری آمینواسیدها نسبت داد که اجتناب‌ناپذیر است. همچنین تغییر در مقدار آمینواسیدها و در نتیجه حضور پپتیدهایی با بار سطحی، نسبت آبدوستی به آبریزی

استفاده از دماهای بالا موجب دنا توره شدن جزئی پروتئین‌ها شده و در نتیجه آنزیم به شکل راحت‌تری می‌تواند به تجزیه پیوندهای پپتیدی بپردازد. در شرایط بهینه هیدرولیز، پپتیدهایی با بهترین ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی تولید می‌شوند، اما در سایر شرایط پپتیدهایی با ویژگی‌های ضعیف‌تر ساخته می‌شوند یا اینکه پپتیدهای آنتی‌اکسیدان مجدداً تجزیه می‌شوند و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی وابسته به ترکیب آمینواسیدی و اندازه پپتیدها و همچنین اندازه مولکولی آمینواسیدهای موجود در ساختار آنها است (Castro and Sato, 2015). بنابراین، برای یک آنزیم خاص، آزاد شدن پپتیدهای آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر ماتریس هیدرولیز شده و شرایط هیدرولیز است (Garcia Moreno et al., 2016). کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط دمایی بهینه آنزیم می‌تواند به دلیل فعالیت بیشتر آنزیم پپسین در این دما و در نتیجه تجزیه پپتیدهای آنتی‌اکسیدان و یا تولید آمینواسیدهای آزاد باشد. آنزیم پپسین یک اندوپپتیداز است که در محل فنیل‌آلنین و یا لوسین، پیوندهای پپتیدی را می‌شکند. تولید پپتیدهایی با انتهای فنیل‌آلنین به دلیل خاصیت آبریزی می‌تواند در ایجاد فعالیت آنتی‌اکسیدانی نقش داشته باشند. همچنین در زمان‌های کوتاه، آنزیم فرصت لازم برای هیدرولیز کافی پروتئین‌ها را ندارد. Nourmohammadi و همکاران (2017) در بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی کنگاله تخم کدو، بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیز شده با پپسین را در بیشترین زمان مورد استفاده (2 ساعت) مشاهده نمودند.

آنالیز آمینواسید

ترکیب آمینواسیدی کنسانتره پروتئین و پروتئین هیدرولیز شده در جدول 6 آمده است. ترکیب آمینواسیدی نقش مهمی در ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی پروتئین‌های هیدرولیز شده دارد. مقدار آمینواسیدهای آبریز در پروتئین هیدرولیز شده 215/84 میلی‌گرم بر گرم بود. وجود

و ساختار فضایی جدید در بروز فعالیت آنتی‌اکسیدانی نقش دارد (Sarmadi and Ismail, 2010).

جدول 6- پروفایل آمینواسیدی کنسانتره پروتئین و پروتئین‌های هیدرولیز شده توسط پپسین (مقادیر بر حسب میلی‌گرم / گرم)

آمینواسید	کنسانتره پروتئین	پروتئین هیدرولیز شده	معنی‌داری	مقدار پیشنهادی †FAO	امتیاز شیمیایی کنسانتره پروتئین	امتیاز شیمیایی پروتئین هیدرولیز شده
آرژنین	73/94±13/85	58/80±0/68	*	-	-	-
سرین	25/59±4/85	29/67±1/75	ns	-	-	-
گلایسین	20/21±4/70	20/37±2/20	ns	-	-	-
ترئونین	15/87±3/59	12/31±1/20	ns	25	0/634	0/492
آلانین	21/41±2/77	21/69±0/65	ns	-	-	-
پرولین	24/41±2/86	25/56±0/70	ns	-	-	-
متیونین	9/93±0/45	4/65±0/42	*	23	0/431	0/202
آسپارتیک اسید	52/86±11/68	57/73±1/40	ns	-	-	-
والین	38/92±5/23	39/55±1/75	ns	40	0/973	0/988
هیستیدین	16/02±0/87	18/23±0/38	*	16	1/001	1/139
لیزین	38/48±4/83	26/26±0/10	*	48	0/801	0/457
گلوتامیک اسید	73/18±14/32	88/07±1/66	*	-	-	-
لوسین	43/81±4/51	45/45±1/76	ns	61	0/718	0/745
فنیل آلانین	34/91±2/64	41/49±0/65	*	41	0/851	1/011
ایزولوسین	24/82±0/63	21/90±1/14	*	30	0/827	0/730
تیروزین	17/12±1/22	15/55±0/44	*	-	-	-

†مقادیر پیشنهادی برای بزرگسالان، فائو (2011)

* دارای اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$)

ns بدون اختلاف معنی‌دار ($p > 0/05$)

دادند، امتیاز شیمیایی آمینواسیدهای ضروری نسبت به پروتئین مرجع کاهش یافت، اما مقدار مشاهده شده را کافی ارزیابی نمودند.

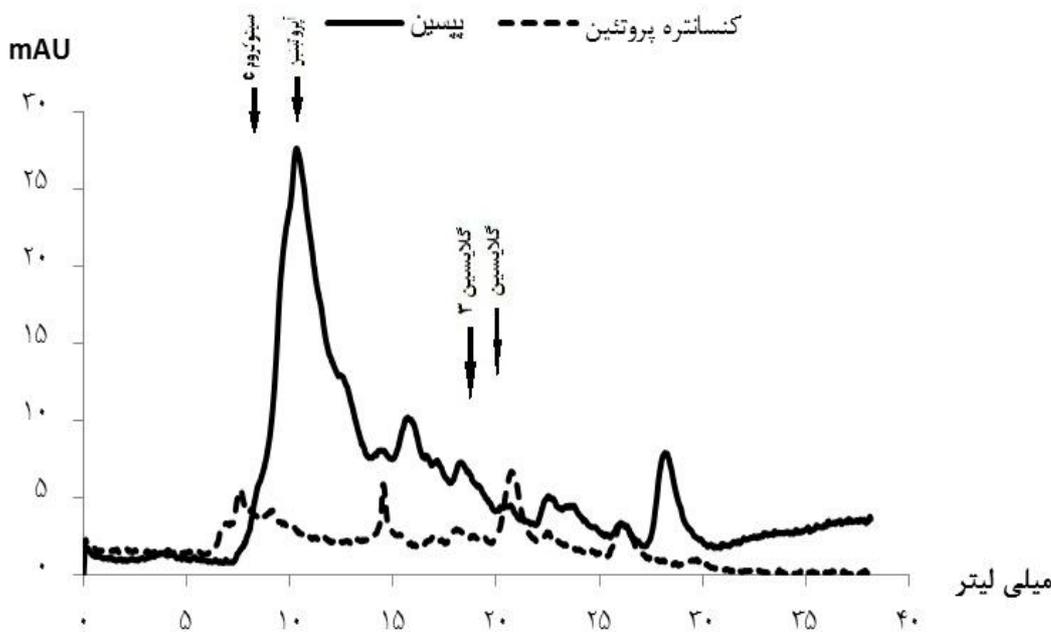
بررسی توزیع وزن مولکولی به روش FPLC

شکل 3 توزیع وزن مولکولی کنسانتره پروتئین و پروتئین‌های هیدرولیز شده را در 280 نانومتر نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، مقدار پپتیدهای بزرگ و کوچک در کنسانتره پروتئین تقریباً نزدیک به هم و بسیار کم است، زیرا در فرآیند استخراج پروتئین از هیچگونه آنزیم هیدرولیزکننده‌ای استفاده نشده و مقادیر کم پپتیدهای اندازه‌گیری شده به دلیل استفاده از اسید و قلیا طی استخراج است. استانداردهای مورد استفاده و وزن مولکولی آنها در جدول 7 آمده است. بخش عمده‌ای از پپتیدهای تولید شده در اثر استفاده از آنزیم

امتیاز شیمیایی برای تخمین ارزش تغذیه‌ای پروتئین مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این بررسی نشان داد که متیونین آمینواسید محدود کننده در کنسانتره پروتئین و پروتئین هیدرولیز شده است (جدول 6)، زیرا در هر دو نمونه، متیونین کمترین مقدار را دارد. هیدرولیز پروتئین با وجود ایجاد تغییر در نسبت آمینواسیدها، افزایشی در نسبت متیونین به مجموع آمینواسیدها ایجاد نمود. در نتیجه پروتئین هیدرولیز شده نیز همانند کنسانتره پروتئین دچار کمبود متیونین است. سایر آمینواسیدها در مقادیر مناسبی قرار دارند. هیدرولیز توسط پپسین باعث افزایش معنی‌دار ($p < 0/05$) میزان هیستیدین، فنیل آلانین (آمینواسیدهای ضروری) و گلوتامیک اسید (آمینواسیدهای غیرضروری) شد. در مطالعه‌ای که Raftani-Amiri و همکاران (2016) بر روی پروتئین هیدرولیز شده *Sepia pharaonis* انجام

مشاهده شده که معادل با پپتیدهای دارای وزن مولکولی 6/5 کیلودالتون (آپروتئین) است. گسترده بودن تعداد جایگاههایی که آنزیم می‌تواند بر آنها اثر داشته باشد موجب تولید پپتیدهای متنوع از نظر اندازه می‌شود (Garcia-Moreno *et al.*, 2016).

پپسین دارای وزن مولکولی 12/3 کیلودالتون (سیتوکروم c) تا 75 دالتون (گلایسین) بودند؛ به این معنی که بیشتر پپتیدها نسبت به پروتئین هیدرولیز شده با پپسین دارای اندازه بزرگتری بودند. همچنین بزرگترین پیک در نمودار پپسین، در حجم شستشوی 11 میلی‌لیتر



شکل 3- کروماتوگرام کنسانتره پروتئین و پروتئین هیدرولیز شده (توسط پپسین) در 280 نانومتر

پپتیدهایی با وزن مولکولی کمتر فعالیت آنتی‌اکسیدانی بهتری دارند (Zou *et al.*, 2016) و پپتیدهایی با وزن مولکولی کمتر از 10 کیلودالتون دارای بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند (Gringer *et al.*, 2016).

پیک‌هایی که پس از 20 میلی‌لیتر مشاهده می‌شوند، مربوط به ترکیباتی هستند که به دلیل برهم‌کنش آبگریزی و تمایل بیشتر به فاز ساکن، دیرتر از ستون خارج می‌شوند و امکان اندازه‌گیری وزن مولکولی آنها وجود ندارد (Gringer *et al.*, 2016).

جدول 7- استانداردهای FPLC

استاندارد	وزن مولکولی (گرم / مول)	حجم شستشو (میلی لیتر)
c سیتوکروم	12384	9/9
آپروتئین	6511/44	11/8
گلایسین 3	189/17	18/4
گلایسین	75/07	19/6

(2/15%)، دمای (39/9) درجه سانتی‌گراد و زمان (4/52) ساعت) هیدرولیز شدند. بر اساس آزمون‌های مهار رادیکال آزاد DPPH، قدرت احیاء‌کنندگی، مهار رادیکال هیدروکسیل و ظرفیت

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، پروتئین‌های نخود کاجان (*Cajanus cajan*) به خوبی توسط پپسین در شرایط بهینه نسبت آنزیم به سوبسترا

آنتی‌اکسیدان مشاهده شده نیز مؤید رابطه بین آمینواسیدهای آنتی‌اکسیدان و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پروتئین هیدرولیز شده *Cajanus cajan* منبع مناسبی از ترکیبات آنتی‌اکسیدان و تغذیه‌ای است.

آنتی‌اکسیدانی کل، پروتئین‌های هیدرولیز شده در شرایط بهینه دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی بودند و وزن مولکولی پروتئین‌های هیدرولیز شده کمتر از 10 کیلوالتون بود که بیان‌کننده رابطه بین ساختار و فعالیت آنتی‌اکسیدانی است. پروتئین هیدرولیز شده از دیدگاه آمینواسیدی دارای کیفیت مناسبی بود. میزان آمینواسیدهای

منابع

- Adebowale, K. O., Lawal, O. S. 2004. Comparative study of the functional properties of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavaliaensiformis*) and mucuna bean (*Mucunapruriens*) flour. *Food Research International*, 37:355-365.
- Akintayo, E.T., Oshodi, K.O. & Esuoso, K.O., 1999, Effects of NaCl, ionic strength and pH on the foaming and gelation of pigeon pea (*Cajanus cajan*) protein concentrates. *Food Chemistry* 66: 51-56.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2005, Official methods of analysis. 18th ed. Washington, DC.
- Castro, R.J. S. & Sato, H.H., 2015, A response surface approach on optimization of hydrolysis parameters for the production of egg white protein hydrolysates with antioxidant activities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(1): 55-62.
- Chi, C.F., Hu, F.Y., Wang, B., Li, T. & Ding, G.F., 2015, Antioxidant and anticancer peptides from the protein hydrolysate of blood clam (*Tegillarca granosa*) muscle. *Journal of Functional Foods*, 15: 301-313.
- FAO, 2011, Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation Auckland, New Zealand, 31 March–2 April.
- Farvin, K.H.S., Andersen, L.L., Nielsen, H.H., Jacobsen, C., Jakobsen, G., Johansson, I. & Jessen, F., 2014, Antioxidant activity of Cod (*Gadus morhua*) protein hydrolysates: In vitro assays and evaluation in 5% fish oil-in-water emulsion. *Food Chemistry*, 149: 326-334.
- Garcia-Moreno, P.J., Guadix, A., Guadix, E.M. & Jacobsen, C., 2016, Physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions stabilized with fish protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 203: 124-135.
- Ghnimi, S., Budilarto, E. & Kamal-Eldin, A. 2017, the New Paradigm for Lipid Oxidation and Insights to Microencapsulation of Omega-3 Fatty Acids. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16: 1206-1216.
- Gringer, N., Safafar, H., Mesnildot, A., Nielsen, H.H., Rogowska-Wrezesinska, A., Undeland, I. & Baron, C.P. (2016) Antioxidative low molecular weight compounds in marinated herring (*Clupea harengus*) salt brine. *Food Chemistry*, 194: 1164-1171.
- Halim, N.R.A. & Sarbon, N.M. 2017. A response surface approach on hydrolysis condition of eel (*Monopterus Sp.*) protein hydrolysate with antioxidant activity. *International Food Research Journal*, 24(3): 1081-1093.
- Jeewanthi, R. K. C., Lee, N. & Paik, H., 2015, Improved Functional Characteristics of Whey Protein Hydrolysates in Food Industry. *Korean Journal of Food Science and Animal Resources*, 35(3): 350-359.
- Jurado, E., Vicaria, J.M., Lechunga, M. & Moya-Ramirez, I., 2012, Pepsin extraction process from swine wastes. *Procedia Engineering*, 42: 1346- 1350.
- Khairul Anwar, M.S. & Mohamed Afizal, M.A., 2015, Overview on the Response Surface Methodology (RSM) in Extraction Processes. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 2(1): 8- 17.
- Kinsella, J. E., 1976, Functional properties of proteins in foods: A survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 7: 219-280.
- Kumar, N.S.S., Nazeer, R.A. & Jaiganesh, R., 2011, Purification and biochemical characterization of antioxidant peptide from horse mackerel (*Magalaspis cordyla*) viscera protein. *Peptides* 32: 1496-1501.
- Lacroix, I.M., Chen, X.-M., Kitts, D. & Li-Chan, E.C., 2017, Investigation into the bioavailability of milk protein-derived peptides with dipeptidyl-peptidase IV inhibitory activity using Caco-2 cell monolayers. *Food and Function*. 2017, 8, 701–709.
- Li, B., Qiao, L., Li, L., Zhang, Y., Li, K., Wang, L. & Qiao, Y., 2017, A novel antihypertensive derived from Adlay (*Coix lachryma-jobi L. Var. ma-yuen Stapf*) *Glutelin*. *Molecules*, 22(1): 123.
- Meshginfar N, Sadeghi-Mahoonak, A., Ziaifar, A.M., Ghorbani, M. & Kashaninejad, M., 2014, Study of antioxidant activity of sheep visceral protein hydrolysate: Optimization using response surface methodology. *ARYA Atherosclerosis*, 10(4): 179-84.

- Ng, K.L., Ayob, M.K., Said, M., Osman, M.A. & Ismail, A., 2013, Optimization of enzymatic hydrolysis of palm kernel cake protein (PKCP) for producing hydrolysates with antiradical capacity. *Industrial Crops and Products*, 43: 725-731.
- Nix, A., Paull, C.A. & Colgrave, M., 2015, The flavonoid profile of pigeonpea, *Cajanus cajan*: a review. *SpringerPlus*, 4(1):125.
- Nourmohammadi, E., Sadeghi Mahoonak, A., Ghorbani, M., Alami, M. & Sadeghi, M. 2017. Identification of the optimum conditions to anti-oxidative peptides production through the enzymatic hydrolysis of pumpkin oil cake protein by pepsin. *Journal of Food Science and Technology*. 61(13): 135- 142.
- Olagunju, A.I., Omoba, O.S., Enujiugha, V.N., Alashi, A.M. & Aluko, R.O. 2018. Antioxidant properties, ACE/renin inhibitory activities of pigeon pea hydrolysates and effects on systolic blood pressure of spontaneously hypertensive rats. *Food Science and Nutrition*. 6:1879–1889.
- Ovissipour, M., Abedian-Kenari, A., Motamedzadegan, A. & Nazari, R.M., 2010, Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Visceral Waste Proteins of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*). *Food Bioprocess and Technology*, 5(2): 696-705.
- Park, S.Y., Kim, Y.S., Ahn, C.B. & Je, J.Y., 2016, Partial purification and identification of three antioxidant peptides with hepatoprotective effects from blue mussel (*Mytilus edulis*) hydrolysate by peptic hydrolysis. *Journal of Functional Foods*, 20: 88–95.
- Pereira D, Simionatto Pinheiro R, Fernanda Serafini Heldt L et al 2017. Rosemary as natural antioxidant to prevent oxidation in chicken burgers. *Food Science and Technology*, 37(1): 17-23.
- Queiroz, A.L.M., Bezerra, T.K.A., Pereira, S.F., Silva, M.E.C., Gadelha, C.A.A., Gadelha, T.S., Pacheco, M.T.B. & Madruga, M.S., 2017, Functional Protein Hydrolysate From Goat By-Products: Optimization And Characterization Studies. *Food Bioscience*, 20: 19- 27.
- Raftani-Amiri, Z., Safari, R., Bakhshande, T. & Ahmadi-Vavsari, F., 2016, Functional properties of fish protein hydrolysates from Cuttlefish (*Sepia pharaonis*) muscle produced by two commercial enzymes. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15 (4): 1485-1499.
- Rakte, A.S. & Nanjwade, B.K., 2014, Proteolytic Enzymes Delivery Systems: A Review. *International Journal for Pharmaceutical Research Scholars (IJPRS)*, 3(2): 188- 197.
- Saxena, K.B., Ravikoti, V.K. and Sultana, R. 2010. Quality nutrition through pigeonpea—a review. *HEALTH 2*, 1335-1344.
- Sarmadi, B. H. & Ismail, A. 2010. Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides*. 31:1949–1956.
- Silpradit, K., Tadakkittasaren, S., Rimkeeree, H., Winitchai, S & Haruthanasan, V. 2010. Optimization of rice bran protein hydrolysate production using alcalase. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 3(02): 221- 231.
- Solomon, S.G., Okomoda, V.D. & Onah, R.E., 2016, Nutritional profile of soaked *Cajanus cajan* (L.) Millsp. and its utilization as partial replacement for soybean meal in the diet of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Journal of Applied Ichthyology* 33(3): 450-457.
- Umayaparvathi, S., Meenakshi, S., Vimalraj, V. & Arumugam, M., 2014, Antioxidant activity and anticancer effect of bioactive peptide from enzymatic hydrolysate of oyster (*Saccostrea cucullata*). *Biomedicine & Preventive Nutrition*, 4: 343-353.
- Yildirim, A., Mavi, A. & Kara, A.A., 2001, Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* extracts. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49:4083–4089.
- Yu, H.C. & Tan, F.J., 2017, Optimization of ultrasonic-assisted enzymatic hydrolysis conditions for the production of antioxidant hydrolysates from porcine liver by using response surface methodology. *Asian- Australasian Journal of Animal Sciences*, 30 (11): 1612-1619.
- Zheng, Y., Li, Y., Zhang, Y., Ruan, X. & Zhang, R., 2017, Purification, characterization, synthesis, in vitro ACE inhibition and in vivo antihypertensive activity of bioactive peptides derived from oil palm kernel glutelin-2 hydrolysates. *Journal of Functional Foods* 28: 48-58.
- Zou, T.B., He, T.P., Li, H.B., Tang, H.W. & Xia, E.Q., 2016, the Structure-Activity Relationship of the Antioxidant Peptides from Natural Proteins. *Molecules*, 21(1): 72.



Optimization of *Cajanus cajan*'s antioxidant and nutritional characteristics during hydrolysis process by pepsin using response surface method

E. Ranjbar Nadamani¹, A. R. Sadeghi Mahoonak², M. Ghorbani², Sh. Jakobson³, V. Khori⁴

Received: 2018.12.05

Accepted: 2019.05.01

Introduction: Proteins are being hydrolyzed to generate various properties such as antioxidant activity and nutritional values. Enzymatic hydrolysis is carried out in milder condition and is more controllable. The produced protein hydrolysates' properties are dependent to the hydrolysis condition. So by optimizing the hydrolysis conditions, proteins with higher antioxidant abilities are achieved. Response surface method is a statistical way to optimize and model the process more efficiently. The aim of present study was to optimize and model the hydrolysis condition to produce and antioxidant protein hydrolysate with high nutritional value from *Cajanus cajan* by pepsin.

Materials and methods: First, *Cajanus cajan*'s proteins solubility was measured. After reaching the pHs with the most and least solubility, protein extraction was carried out by using NaOH and HCl. Enzyme concentration (1, 2, 3%), temperature (30, 35, 40 °C) and time (2, 3.5, 5 h) as independent variables were given to the Design Expert software and protein hydrolysis was done in a shaker incubator according to the 20 treatments suggested by the software. 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, hydroxyl radical scavenging activity, Reducing power and total antioxidant activity were measured as dependent variables. Antioxidant assays were modeled by the software and the optimum condition was evaluated. The obtained optimum condition was validated by repeating the antioxidant assays for the protein hydrolysate produced in the optimum condition. The amino acid profile of the protein hydrolysate was measured using HPLC-MS and chemical score was measured. Then, the molecular weight distribution of the protein concentrate and protein hydrolysate was evaluated by FPLC. Chemical composition of the samples was also measured.

Results & discussion: The optimum condition for achieving antioxidant protein hydrolysate was enzyme concentration 2.15%, temperature 39.99 °C and time 4.52 h. Model validation results for this point were including DPPH scavenging activity 58.49%, reducing power 0.31 nm, hydroxyl radical scavenging activity 38.2% and total antioxidant capacity 0.63 nm. The protein concentrate consisted of 215.84 mg/g hydrophobic and 57.04 mg/g of them were aromatic amino acids. These amino acids are responsible for antioxidant activity of the protein hydrolysates. Chemical scores for essential amino acids were good. Most of the peptides in the protein hydrolysate had molecular weights below 10 kD that is considered to have antioxidant activities. Hydrolysis also increased the protein and ash content while fat and water content decreased compared to the *Cajanus cajan*'s flour and protein concentrate. Results showed that *Cajanus cajan*'s protein hydrolysate can be a good source of antioxidants and play a positive role in human nutrition.

Keywords: Protein hydrolysate, Pepsin, Antioxidant, Pea, Bioactive peptide

1. Ph.D. Student, Department of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.

2. Associate professor, Department of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Professor, Division of Industrial Food Research, Technical University of Denmark, Copenhagen, Denmark.

4. Professor of Pharmacology, Department of Pharmacology, School of Medicine, Ischemic Disorders Research Center, Golestan University of Medical Sciences.

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

تاثیر فیلم و پوشش کیتوزان با بسته‌بندی تحت خلاء بر کیفیت فیله‌های ماهی شعری معمولی (*Lethrinus nebulosus*) نگهداری شده در دمای 4°C

مزگان کریمی رضاآباد¹ - آناز خدانظری^{2*} - سید مهدی حسینی²

تاریخ دریافت: 1397/08/23

تاریخ پذیرش: 1398/02/09

چکیده

در این مطالعه اثر فیلم و پوشش کیتوزان تحت شرایط بسته‌بندی در خلاء و بسته‌بندی در اتمسفر بر کیفیت فیله ماهی شعری معمولی (*Lethrinus nebulosus*) طی نگهداری در یخچال به مدت 12 روز مورد بررسی قرار گرفت. محلول کیتوزان با حل کردن 2% وزنی / حجمی کیتوزان در اسید استیک 1% حجمی / حجمی به دست آمد. فیله‌های ماهی به وسیله فیلم و پوشش کیتوزان تیمار و سپس بسته‌بندی (معمولی و تحت خلاء) شدند. آنالیزهای شیمیایی، میکروبی و حسی هر 3 روز یکبار به مدت 12 روز انجام شد. میزان بازهای ازته فرار، اسیدهای چرب آزاد، تری متیل آمین، pH و باکتری‌های کل در نمونه پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء کمتر از نمونه شاهد بود. در انتهای دوره نگهداری نمونه فیلم کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء کمترین مقدار (1/22 میلی گرم مالون آلدئید بر کیلوگرم گوشت) تیوباریتوریک اسید را دارا بود. کمترین و بیشترین مقدار باکتری‌های سرما دوست به ترتیب در نمونه‌های پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء (6/25 log₁₀ cfu/g) و شاهد (8/70 log₁₀ cfu/g) در روز 12 مشاهده شد. نتایج آنالیز حسی فیله‌های خام و پخته شده نشان داد که نمونه‌های دارای پوشش و فیلم کیتوزان همراه و بدون بسته بندی تحت خلاء بهترین امتیاز را دارا بودند. نتایج به دست آمده از آنالیز رنگ نمونه‌ها نیز بیان‌کننده همین مطلب است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از فیلم و پوشش کیتوزان همراه با بسته‌بندی تحت خلاء باعث حفظ ویژگی‌های شیمیایی، میکروبی و حسی فیله ماهی شعری معمولی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی تحت خلاء، *Lethrinus nebulosus*، فیلم، پوشش.

مقدمه

زیادی در این زمینه صورت گرفته شده است (اجاق و همکاران، 1389). در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه بسته‌بندی و با هدف بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و ارگانولپتیک محصولات غذایی صورت گرفته است (Yu et al., 2018). برای جلوگیری و یا به تعویق انداختن فساد و اکسیداسیون در چربی ماهی و فرآورده‌های آن می‌توان از کنترل درجه حرارت، بسته‌بندی تحت خلاء و همچنین افزودن آنتی‌اکسیدان استفاده کرد. روش‌های بسته‌بندی فرآورده‌های شیلاتی متفاوت بوده و یکی از روش‌های متنوع، بسته‌بندی تحت خلاء می‌باشد (Kachele et al., 2017) که در دهه‌های اخیر برای ماهیان تجاری مرسوم شده است. محدود کردن میزان اکسیژن در فرآیند بسته‌بندی باعث کاهش رشد باکتری‌ها و عوامل فساد در ماهی شده و همچنین تری متیل آمین⁵ و بوهای نامطلوب در سیستم خلاء ایجاد نشده و با بسته‌بندی در خلاء از تولید آن‌ها پیشگیری می‌شود (Preez-Alonso, 2004). در گوشت‌های بسته‌بندی شده در خلاء سطوح دی‌اکسیدکربن به سرعت به 20-10 درصد رسیده و بنابراین می‌توان گفت که

با اینکه برای حفظ خواص حسی و تغذیه‌ای ماهی از روش نگهداری در سرما استفاده زیادی می‌شود اما وجود فراوان چربی‌های غیراشباع و مقادیر بالای مولکول‌های پرواکسیدان باعث می‌شود فساد آنزیمی و غیرآنزیمی که بر ماندگاری فرآورده‌های ماهی تاثیر بسزایی دارد در نگهداری انجمادی نیز ادامه پیدا کند (Yu et al., 2018). از این رو نگهدارنده‌های مصنوعی مانند هیدروکسی آئیزول بوتیل³ و هیدروکسی تولوئن بوتیل⁴ عوامل شلاته‌کننده و ترکیبات ضد میکروبی ممکن است جهت بهبود تازگی به این محصولات افزوده شوند، اما مصرف‌کنندگان تمایل بیشتری به استفاده از نگهدارنده‌های طبیعی به جای مصنوعی نشان می‌دهند. به همین دلیل مطالعات

1 و 2 - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
(* - نویسنده مسئول: Email: khodanazary@yahoo.com)

DOI: 10.22067/iftstrj.v15i4.76581

3 Butylated hydroxy anisole

4 Butylated hydroxy toluene

5 Trimethyl amine (TMA)

تهیه فیلم کیتوزان

فیلم با قالب ریزی در قالب‌های طلقی نچسب (ابعاد 27×16 سانتی متر) و خشک کردن تهیه شد. بدین ترتیب که ابتدا 100 میلی لیتر محلول کیتوزان در قالب ریخته و در دمای 37 درجه سانتی‌گراد (انکوباتور) قرار داده شدند. فیلم‌ها پس از خشک شدن از قالب جدا و به دور فیلدها پیچانده شدند (Nowzari et al., 2013).

تهیه پوشش کیتوزان

فیلدهای پوشش داده شده مورد نظر به مدت 30 ثانیه در محلول کیتوزان، غوطه‌ور و سپس 2 دقیقه از محلول خارج و مجدداً 30 ثانیه در محلول غوطه‌ور شدند، پس از آن به مدت 2 ساعت در دمای محیط (20 درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند تا خشک شده و پوشش به دور فیلدها شکل بگیرد (Jeon et al., 2002)؛ اجاق و همکاران، 1389). بعد از آماده شدن فیلدهای فیلم و پوشش داده شده، تعدادی از فیلدهای ماهی با پلاستیک‌های زیپ کیپ معمولی (بسته‌بندی معمولی) و تعدادی نیز با استفاده از دستگاه بسته‌بندی تحت خلاء واقع در کارخانه مرجان با پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی (بسته‌های 200 گرمی) بسته‌بندی و سپس تیمار بندی شدند:

تیمار 1- فیلدهای ماهی در فشار اتمسفر بسته‌بندی و به‌عنوان گروه شاهد استفاده شدند.

تیمار 2- فیلدها با پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی (دستگاه بسته‌بندی تحت خلاء) بسته‌بندی شدند.

تیمار 3- فیلدها در فیلم کیتوزان پیچانده شده و در فشار اتمسفر بسته‌بندی شدند.

تیمار 4- فیلدها در فیلم کیتوزان پیچانده شده و به‌صورت تحت خلاء بسته‌بندی شدند.

تیمار 5- فیلدها در محلول کیتوزان غوطه‌ور (پوشش) و در فشار اتمسفر بسته‌بندی شدند.

تیمار 6- فیلدها در محلول کیتوزان غوطه‌ور (پوشش) و سپس به‌صورت تحت خلاء بسته‌بندی شدند.

به ازای هر تیمار سه تکرار تهیه شد، سپس فیلدهای ماهی به یخچال (دمای 4 درجه سانتی‌گراد) منتقل شده و آنالیزهای فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی هر 3 روز یکبار به مدت 12 روز انجام شد.

آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی

اندازه‌گیری تیوباربتوریک اسید (TBA)

مقدار تیوباربتوریک اسید عضله مطابق با روش Pearson (1976) سنجش شد. برای تعیین میزان تیوباربتوریک اسید در عضله مقدار 10 گرم نمونه چرخ شده وزن شده و به بالون تقطیر منتقل و

بسته‌بندی تحت خلاء شکلی از بسته‌بندی اتمسفر تغییر یافته با CO_2 بالا می‌باشد (تاج الدین، 1380). در این نوع بسته‌بندی‌ها حالیت دی‌اکسیدکربن تولید شده در عضله، اثر تثبیتی روی pH دارد به طوری که از افزایش ترکیبات نیتروژنی فرار و آمونیم که از طریق متابولیسم باکتری‌ها ایجاد می‌شوند و می‌توانند روی pH گوشت اثر بگذارند، جلوگیری می‌شود (Mendes and Goncalvz, 2008). همچنین محصولات نگهداری شده در شرایط کمتر از 1% اکسیژن مانع از رشد میکروارگانیسم‌های عامل فساد مانند سودوموناس¹، شوانلا پوترفاسینس² و انتروباکتریاسه³ در مقابل بسته‌بندی معمولی می‌شوند (Arashisar et al., 2004; Stamatis and Arkoudelos, 2007; Mastromatteo et al., 2010). هدف از مطالعه حاضر، تاثیر بسته‌بندی تحت خلاء، پوشش و فیلم کیتوزان بر خواص فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی ماهی شعری معمولی نگهداری شده در یخچال بود.

مواد و روش‌ها

90 عدد ماهی شعری معمولی تازه با میانگین وزنی $500 \pm 0/02$ در تیر ماه 1395 از بازار ماهی فروشان آبادان خریداری و در یونولیت پر از یخ (نسبت 1 به 3 ماهی و یخ) قرار داده شد، سپس به آزمایشگاه شیلات دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر منتقل گردیدند. ماهیان سرزنی، تخلیه امعاء و احشاء و فیله شدند و با آب سرد شستشو داده شدند. محلول و فیلم کیتوزان را که 24 ساعت قبل از بسته‌بندی آماده شده بودند به کارخانه مرجان واقع در شهرستان آبادان منتقل تا نمونه‌های ماهی تیمار بندی و بسته بندی شوند.

تهیه محلول کیتوزان

جهت تهیه محلول کیتوزان، 2 گرم پودر کیتوزان را در 100 سی‌سی محلول اسید استیک 1 درصد (حجمی/حجمی) حل نموده و جهت انحلال کامل و یکنواخت نمودن، محلول فوق در دمای اتاق و به مدت 3 ساعت روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. سپس گلیسرول به میزان 0/75 میلی‌لیتر به ازای هر گرم کیتوزان به‌عنوان پلاستی‌سایزر⁴ افزوده گردید و به مدت 10 دقیقه با همزن مغناطیسی مخلوط گردید. در نهایت کاغذ صافی واتمن شماره 3 برای حذف ناخالصی‌ها از محلول فوق استفاده شد (اجاق و همکاران، 1389).

- 1 *Pseudomonas spp*
- 2 *Shewanella putrefaciens*
- 3 Enterobacteriaceae
- 4 Plasticizer

تیتراسیون تا تغییر رنگ از زرد به آبی تغییر یافت. میزان اسیدهای چرب آزاد با استفاده از رابطه 3 به درصد الوئیک اسید به دست آمد.

$$FFA = [N \times (V_2 - V_1) \times 2.82] / W \quad (3)$$

که در آن N (نرمالیتته NaOH)، V_2 (حجم مصرفی NaOH)، V_1 (حجم مصرفی NaOH برای نمونه شاهد) و W (گرم چربی) است.

اندازه‌گیری pH

برای اندازه‌گیری pH مقدار 5 گرم نمونه چرخ شده از هر تیمار به 45 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به مدت 30 ثانیه در مخلوط‌کن قرار داده شد. سپس pH نمونه‌ها با pH متر دیجیتالی اندازه‌گیری شد (Salam et al., 2004).

اندازه‌گیری تری متیل آمین (TMA)

برای اندازه‌گیری تری‌متیل آمین از روش AOAC (1995) استفاده شد. جهت تهیه عصاره بافت ماهی 10 گرم از عضله ماهی را وزن کرده و با 30 میلی‌لیتر از ماده تری کلرواستیک اسید 7/5 درصد مخلوط کرده و سپس با دستگاه هموژنایزر به مدت 2 دقیقه یکنواخت گردیده تا مخلول شیری رنگ حاصل شود. در مرحله بعد بافت یکنواخت شده در سرعت 2500 دور و به مدت 10 دقیقه سانتریفوژ شده و مواد جامد ته‌نشین شده و مخلول فوقانی که شفاف می‌باشد، به‌عنوان عصاره بافت عضله ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، سپس آزمون تری‌متیل آمین بدین روش انجام شد: ابتدا یک میلی‌لیتر از عصاره بافت ماهی با پپیت برداشته و به لوله آزمایش اضافه شد و با آب مقطر به حجم 4 میلی‌لیتر رسانده شد. به عصاره فوق یک میلی‌لیتر فرمالدئید 20 درصد و در مرحله بعد 10 میلی‌لیتر تولوئن و 3 میلی‌لیتر مخلول کربنات کلسیم به محتویات لوله آزمایش اضافه شد تا حجم نهایی لوله آزمایش به 18 میلی‌لیتر رسید. در این زمان دو فاز در لوله آزمایش تشکیل شد، فاز فوقانی تولوئن و فاز زیرین سایر مواد موجود در لوله آزمایش است. سپس درب لوله آزمایش بسته و در داخل حمام آب گرم (بن ماری) با دمای 30 درجه سانتی‌گراد به مدت 5 دقیقه قرار داده شد. بعد از گذشت 5 دقیقه نمونه‌ها از حمام آب گرم خارج و 40 تا 60 بار تکان داده شد، به طوری که دو فاز تشکیل شده کاملاً مخلوط شدند و TMA آزاد شده جذب تولوئن شد. به همین دلیل از لوله‌های آزمایش استفاده و درب آنها محکم بسته شد تا در هنگام تکان دادن هیچ مایعی خارج نشود. در مرحله بعد لوله‌ها را به مدت 10 دقیقه در دمای محیط آزمایشگاه گذاشته تا دو فاز کاملاً از هم جدا شوند. پس از جدا شدن فازها، 9-7 میلی‌لیتر لایه تولوئن به دقت از لایه پایینی جدا شده و به لوله آزمایش دیگر منتقل شدند. جهت اطمینان از این که هیچ مولکول آبی در تولوئن نیست، به لوله آزمایش 0/1 گرم سولفات سدیم بدون آب انتقال داده شد. در مرحله

روی آن 50 cc آب مقطر اضافه و به مدت 2 دقیقه همزده شد. مجدداً 47/5 cc آب مقطر همراه با 2/5 cc اسید کلریدریک 4 نرمال به آن اضافه شد. عمل تقطیر تا زمانی که 50 cc مخلول تقطیر شده به دست آید، ادامه یافت. سپس 5 cc از مخلول تقطیر شده به داخل لوله آزمایش دربار منتقل و روی آن 5 cc معرف تیوباریتوریک اضافه شد. به‌منظور تهیه لوله شاهد، 5 cc آب مقطر همراه با 5 cc معرف تیوباریتوریک اسید به لوله آزمایش دیگری اضافه شد. لوله‌های آزمایش به مدت 35 دقیقه در حمام آبی در دمای 100 درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس به مدت 10 دقیقه در آب سرد خنک شدند. بعد از آن به کمک دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج 538 نانومتر میزان جذب نوری قرائت شد تا مقدار تیوباریتوریک اسید به دست آید (رابطه 1).

$$(1) \quad \text{میزان تیوباریتوریک اسید} = 7/8 \times \text{میزان جذب نوری در طول موج 538}$$

اندازه‌گیری بازهای از ته فرار (TVB-N)

ابتدا 10 گرم از گوشت چرخ شده ماهی و 2 گرم اکسید منیزیم در یک بالون کندانسور توزین شد. سپس 300 cc آب مقطر، 2 تا 3 قطره آنتی‌فوم و تعدادی سنگ جوش نیز به محتویات بالون افزوده شد. بعد از آن سیستم کندانسور نصب شده و در زیر لوله خروجی سیستم، ارلنی حاوی 25 cc اسید بوریک 2% دارای 2-3 قطره معرف متیل رد قرار گرفت به طوری که سر لوله خروجی کاملاً درون مخلول ارلن بود تا پس از برقراری جریان آب سرد و روشن کردن هیتر و جوشیدن محتویات بالون کندانسور، گازهای متصاعد شده که معرف بازهای از ته فرار هستند در مخلول درون ارلن جمع‌آوری شوند که به‌صورت تغییر رنگ مخلول از ارغوانی به سبز روشن نمودار شد. در نهایت این مخلول با اسید سولفوریک 0/1 نرمال تیتراژ شد تا رنگ مخلول مجدداً ارغوانی شود. با قرار دادن میزان اسید مصرفی جهت تیتراسیون در رابطه 2، بازهای از ته فرار بر حسب میلی‌گرم نیترژن در 100 گرم نمونه ماهی محاسبه شد (Goulas and Kontaminas, 2005).

$$(2) \quad 14 \times \text{حجم اسید سولفوریک مصرفی} = \text{TVB-N}$$

اندازه‌گیری میزان اسیدهای چرب آزاد¹ (FFA)

میزان اسیدهای چرب آزاد با استخراج چربی از 10 گرم گوشت با کمک کلروفرم/متانول به روش Woywoda و همکاران (1986) و تیتراسیون گروه‌های کربوکسیل آزاد موجود در آن با هیدروکسید سدیم صورت پذیرفت. کلروفرم، متانول و 2- پروپانول به نسبت 2:1:2 به همراه معرف متاکروزول ارغوانی به عصاره استخراج شده اضافه شد و

لگاریتم آن‌ها گرفته شد تا لگاریتم تعداد کلنی در واحد وزن (log cfu/g) به دست آید.

آنالیز حسی نمونه پخته

برای ارزیابی حسی نمونه‌های پخته شده، نمونه‌های ماهی در داخل فویل آلومینیوم، به مدت 15 دقیقه در دمای 98 درجه سانتی‌گراد بخارپز شدند (1/5 درصد نمک اضافه شد). بافت، طعم، بو، رنگ و پذیرش کلی نمونه‌ها با مقیاس هدونیک (با اندکی تغییر) با اصطلاحات توصیفی زیر رتبه‌بندی شدند: بافت (5، دارای انسجام ماهی تازه، 1، خمیری)، رنگ (5، بدون تغییر رنگ، 1، کاملاً رنگ پریده)، طعم (5، مطلوب، 1، کاملاً نامطلوب)، بو (5، مطبوع، 1، کاملاً نامطوب)، پذیرش کلی (5، خیلی خوب، 1، خیلی بد) (Ojagh et al., 2010).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت. آنالیز داده‌ها با استفاده از آزمون واریانس یک طرفه صورت گرفت و نتایج به صورت میانگین \pm خطای معیار بیان شدند. جهت انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال 0/05 با استفاده از نرم‌افزار آنالیز آماری SPSS 16 استفاده گردید.

نتایج و بحث

تغییرات میزان تیوباریتوریک اسید

تغییرات میزان تیوباریتوریک اسید (میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم گوشت) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال (1 \pm 4 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 روز در جدول 1 مشاهده می‌شود.

بعد درب لوله را کاملاً بسته و به خوبی تکان داده شد تا تولوئن خشک شود، سپس 5 میلی‌لیتر محلول اسید پیکریک به آن اضافه کرده و با چرخش آرامی کاملاً ترکیب و با دستگاه اسپکتروفوتومتر تغییر رنگ ایجاد شده مقابل لوله شاهد که حاوی تمامی مواد نامبرده شده به جز عصاره ماهی است، در طول موج 410 نانومتر قرائت شد. به منظور تهیه محلول‌های استاندارد، به ترتیب 1، 2 و 3 میلی‌لیتر از محلول کاری استاندارد TMA با آب مقطر به حجم 4 میلی‌لیتر رسانده و سپس با تعیین میزان جذب نوری، منحنی استاندارد رسم شد. در این آزمایش یک لوله نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. جدول 1 میزان مواد و محلول‌های هر سه لوله شاهد، استاندارد و مجهول را نشان می‌دهد. با تعیین میزان جذب نوری در نمونه مجهول و با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده میزان TMA در عضله ماهی محاسبه شد.

آنالیز میکروبی

10 گرم از گوشت ماهی با 90 میلی‌لیتر سرم فیزیولوژی (0/85%) با هموژنایزر (IKA, T25 digital, ULTARA-TURRAX, Germany) به مدت 60 ثانیه به خوبی مخلوط شدند. 0/1 cc از نمونه‌های تهیه شده روی محیط کشت به طور سطحی پخش شد. در صورت نیاز (بالا بودن تعداد باکتری‌ها در یک پلیت) رقیق‌سازی نمونه‌ها (تا رقت نهایی 6) در محلول سرم فیزیولوژی انجام شد. تمام وسایل جهت کشت میکروبی استریل بودند. پلیت‌های کشت داده شده مربوط به شمارش باکتری‌های هوازی مزوفیل بعد از 48 ساعت قرار گرفتن در انکوباتور با دمای 35 درجه سانتی‌گراد (Egan et al., 1997) و پلیت‌های مربوط به باکتری‌های سرمادوست بعد از 10 روز در یخچال با دمای 4 درجه سانتی‌گراد شمارش شدند (McMeekin, 1993). پس از اتمام زمان، کلنی‌ها پس از شمارش در عکس رقت مورد استفاده ضرب و بر وزن نمونه برداشته شده تقسیم شد. سپس

جدول 1- تغییرات مقادیر تیوباریتوریک اسید (میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم گوشت) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال به مدت 12 روز.

تیمارها	دوره نگهداری (روز)				
	صفر	3	6	9	12
شاهد	0/50 \pm 0/05 ^{bA}	0/59 \pm 0/18 ^{bA}	1/67 \pm 0/12 ^{abAB}	2/48 \pm 0/37 ^{aA}	3/07 \pm 0/86 ^{aA}
بسته‌بندی تحت خلاء	0/29 \pm 0/01 ^{bA}	0/43 \pm 0/10 ^{bA}	0/72 \pm 0/06 ^{bC}	0/91 \pm 0/34 ^{bB}	2/02 \pm 0/48 ^{aA}
فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	0/37 \pm 0/09 ^{aA}	0/43 \pm 0/06 ^{aA}	0/85 \pm 0/26 ^{aBC}	1/64 \pm 0/50 ^{aAB}	2/01 \pm 1/12 ^{aA}
فیلم کیتوزان + تحت خلاء	0/36 \pm 0/22 ^{cA}	0/60 \pm 0/14 ^{bcA}	1/53 \pm 0/26 ^{aABC}	0/80 \pm 0/23 ^{bcB}	1/22 \pm 0/16 ^{abA}
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	0/31 \pm 0/04 ^{cA}	0/72 \pm 0/12 ^{cA}	1/98 \pm 0/33 ^{bA}	0/75 \pm 0/19 ^{cB}	2/87 \pm 0/29 ^{aA}
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء	0/55 \pm 0/13 ^{bA}	0/80 \pm 0/40 ^{abA}	1/79 \pm 0/40 ^{abA}	1/17 \pm 0/49 ^{abB}	2/21 \pm 0/53 ^{aA}

حروف غیرهم نام کوچک در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین روزها و حروف غیرهم نام بزرگ در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p < 0/05$ می‌باشد.

نمونه شاهد (3/07 میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم گوشت) در روز 12 بود.

تغییرات میزان بازهای از ته فرار

جدول 2 تغییرات بازهای از ته فرار (میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم نمونه) تیمارهای مختلف طی نگهداری در یخچال (1±4 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 روز را نشان می‌دهد.

جدول 2- تغییرات مقادیر بازهای از ته فرار (میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم نمونه) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال به مدت 12 روز.

تیمارها	دوره نگهداری (روز)	صفر	3	6	9	12
شاهد	21/13±0/69 ^{cA}	38/33±3/42 ^{bA}	40/06±4/21 ^{bA}	47/66±1/55 ^{abA}	57/06±5/44 ^{aA}	
بسته بندی تحت خلاء	24/66±3/70 ^{bA}	34/33±4/63 ^{bAB}	30/06±1/21 ^{bB}	46/46±4/86 ^{aA}	47/26±1/26 ^{aAB}	
فیلم کیتوزان و بسته بندی معمولی	25±6/51 ^{bA}	26/66±2/90 ^{abBC}	32/20±3/29 ^{abB}	41/80±0/98 ^{abABC}	45/93±9/14 ^{aAB}	
فیلم کیتوزان+تحت خلاء	17/20±1/66 ^{bA}	18/60±1/24 ^{bC}	21/73±2/28 ^{bC}	44/40±1/24 ^{aAB}	40/40±7/37 ^{aAB}	
پوشش کیتوزان و بسته بندی معمولی	21/13±0/69 ^{dA}	21/93±0/46 ^{dC}	31±0/64 ^{cB}	37/73±3/29 ^{bBC}	44/66±2/09 ^{aAB}	
پوشش کیتوزان و بسته بندی تحت خلاء	18/33±1/47 ^{cA}	25/73±1/18 ^{bBC}	24/33±0/43 ^{bBC}	34/53±1/23 ^{aC}	34/40±1/13 ^{aB}	

حروف غیرهم نام کوچک در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین روزها و حروف غیرهم نام بزرگ در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p < 0/05$ می‌باشد.

نمونه شاهد (57/06 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم نمونه) در روز 12 بود.

تغییرات میزان اسیدهای چرب آزاد

تغییرات میزان اسیدهای چرب آزاد (درصد اولئیک اسید) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال (1±4 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 روز در جدول 3 مشاهده می‌شود.

جدول 3- تغییرات مقادیر اسیدهای چرب آزاد (درصد اولئیک اسید) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال به مدت 12 روز.

تیمارها	دوره نگهداری (روز)	صفر	3	6	9	12
شاهد	1/56±0/39 ^{bAB}	2/23±0/36 ^{abA}	2/76±0/61 ^{abA}	3/54±1/05 ^{abA}	5/27±1/52 ^{aA}	
بسته بندی تحت خلاء	1/35±0/16 ^{aAB}	1/44±0/07 ^{aA}	1/81±0/15 ^{aAB}	2/37±0/08 ^{aAB}	1/84±0/65 ^{aB}	
فیلم کیتوزان و بسته بندی معمولی	1/77±0/08 ^{bA}	1/67±0/46 ^{bA}	1/98±0/50 ^{bAB}	2/22±0/15 ^{abAB}	3/37±0/61 ^{aAB}	
فیلم کیتوزان+تحت خلاء	0/95±0/12 ^{cB}	1/78±0/20 ^{abA}	1/45±0/02 ^{bcB}	2/20±0/05 ^{aAB}	2/08±0/36 ^{abB}	
پوشش کیتوزان و بسته بندی معمولی	1/16±0/14 ^{cAB}	1/68±0/14 ^{bcA}	1/70±0/20 ^{bcAB}	2/38±0/31 ^{abAB}	2/61±0/33 ^{aB}	
پوشش کیتوزان و بسته بندی تحت خلاء	1/31±0/04 ^{aAB}	1/44±0/23 ^{aA}	1/64±0/43 ^{aAB}	1/60±0/50 ^{aB}	1/46±0/24 ^{aB}	

حروف غیرهم نام کوچک در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین روزها و حروف غیرهم نام بزرگ در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p < 0/05$ می‌باشد.

میزان تیوباربیتوریک اسید در روز صفر از 0/29 تا 0/55 میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم گوشت متغیر بود. نتایج مطالعه نشان داد که میزان تیوباربیتوریک اسید در نمونه شاهد و تیمار شده طی دوره نگهداری افزایش معنی‌داری داشتند ($p < 0/05$). مقایسه میزان تیوباربیتوریک اسید تیمارهای مختلف نشان داد که کمترین مقدار تیوباربیتوریک اسید در نمونه فیلم کیتوزان+ بسته بندی تحت خلاء (1/22 میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم گوشت) و بیشترین مقدار در

میزان بازهای از ته فرار در تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی روز صفر از 17/20 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم نمونه تا 25 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم نمونه متغیر بود. نتایج مطالعه نشان داد که میزان بازهای از ته فرار در نمونه شاهد و تیمار شده طی دوره نگهداری افزایش معنی‌داری نشان داد ($p < 0/05$). کمترین مقدار بازهای از ته فرار مربوط به نمونه پوشش+ بسته بندی تحت خلاء (34/40 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم نمونه) و بیشترین مقدار نیز

تغییرات میزان pH

تغییرات میزان pH تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال (1 ± 4 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 روز در جدول 4 مشاهده می‌شود. میزان این شاخص از 6/72 تا 7/21 در روز صفر متغیر بود. براساس نتایج به‌دست آمده میزان pH در نمونه‌های شاهد و تیمار شده طی دوره نگهداری افزایش معنی‌داری را نشان داد ($p < 0/05$). میزان pH نمونه‌های بسته‌بندی شده تحت خلاء و فیلم کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء با افزایش دوره نگهداری از نظر آماری تفاوت معناداری را نشان ندادند ($p > 0/05$). به‌طور کلی در روز آخر بالاترین میزان pH مربوط به نمونه شاهد (8/27) و کمترین آن متعلق به نمونه پوشش کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء (7/05) بود.

میزان این شاخص در تیمارهای مختلف در روز صفر از 0/95 تا 1/77 درصد اولئیک اسید متغیر بود. مقدار اسیدهای چرب آزاد در همه نمونه‌ها با گذشت زمان نگهداری افزایش یافت. میزان این شاخص در نمونه پوشش کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء در طول دوره نگهداری تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P > 0/05$). مقایسه میزان اسیدهای چرب آزاد در تیمارهای مختلف نشان داد که بیشترین میزان اسیدهای چرب آزاد مربوط به نمونه شاهد بود و در سایر نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$). به‌طور کلی کمترین و بیشترین میزان اسیدهای چرب آزاد به‌ترتیب مربوط به نمونه‌های غوطه‌ور شده در کیتوزان با بسته‌بندی تحت خلاء (1/46 درصد اولئیک اسید) و نمونه شاهد (5/27 درصد اولئیک اسید) بود.

جدول 4- تغییرات مقادیر pH تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال به مدت 12 روز.

تیمارها	دوره نگهداری (روز)	صفر	3	6	9	12
شاهد	7/21±0/50 ^{ba}	7/44±0/16 ^{abA}	7/51±0/02 ^{abB}	8/15±0/42 ^{abA}	8/27±0/05 ^{aA}	
بسته‌بندی تحت خلاء	6/99±0/41 ^{aA}	7/59±0/06 ^{aA}	7/50±0/16 ^{aB}	7/87±0/25 ^{aA}	7/68±0/39 ^{aAB}	
فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	6/94±0/40 ^{ba}	7/42±0/00 ^{abA}	7/27±0/06 ^{abB}	7/72±0/07 ^{abA}	7/76±0/32 ^{aAB}	
فیلم کیتوزان + تحت خلاء	6/96±0/40 ^{aA}	7/37±0/06 ^{aA}	7/38±0/03 ^{aB}	7/37±0/05 ^{aA}	7/34±0/32 ^{aB}	
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	6/76±0/34 ^{ba}	7/47±0/07 ^{abA}	7/85±0/02 ^{aA}	7/89±0/36 ^{aA}	7/80±0/20 ^{aAB}	
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء	6/99±0/15 ^{ca}	7/39±0/02 ^{abA}	7/50±0/10 ^{aB}	7/48±0/17 ^{aA}	7/05±0/01 ^{bcB}	

حروف غیرهم نام کوچک در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین روزها و حروف غیرهم نام بزرگ در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p < 0/05$ می‌باشد.

میزان این شاخص در تیمارهای مختلف از 6/15 تا 7/32 میلی‌گرم بر 100 گرم نمونه در روز صفر متغیر بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان تری‌متیل آمین نمونه‌های شاهد و تیمار شده طی دوره نگهداری افزایش معنی‌داری را نشان دادند ($p < 0/05$).

تغییرات میزان تری‌متیل آمین

در جدول 5 تغییرات میزان تری‌متیل آمین (میلی‌گرم بر 100 گرم نمونه) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال (1 ± 4 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 روز مشاهده می‌شود.

جدول 5- تغییرات مقادیر تری‌متیل آمین (میلی‌گرم بر 100 گرم نمونه) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال به مدت 12 روز.

تیمارها	دوره نگهداری (روز)	صفر	3	6	9	12
شاهد	7/25±0/07 ^{dA}	8/98±1/14 ^{caB}	10/40±0/41 ^{caA}	13/38±0/07 ^{baA}	16/27±0/10 ^{aA}	
بسته‌بندی تحت خلاء	7/32±0/11 ^{dA}	9/40±0/73 ^{caA}	9/66±0/28 ^{caA}	11/39±0/49 ^{baB}	14/10±0/29 ^{aB}	
فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	7/04±0/53 ^{caA}	6/42±0/46 ^{caB}	5/57±1/19 ^{caB}	9/13±0/10 ^{baB}	13/79±0/28 ^{aB}	
فیلم کیتوزان + تحت خلاء	6/51±0/69 ^{abA}	6/38±0/54 ^{abB}	5/52±0/88 ^{baB}	6/31±0/07 ^{abC}	7/84±0/29 ^{aD}	
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	6/15±1/15 ^{aA}	6/60±1/43 ^{aAB}	6/21±0/65 ^{aB}	6/51±1/77 ^{aC}	9/40±0/66 ^{aC}	
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء	7/03±0/42 ^{aA}	7/03±0/50 ^{aB}	7/03±0/10 ^{aB}	6/16±0/03 ^{aC}	7/27±0/15 ^{aD}	

حروف غیرهم نام کوچک در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین روزها و حروف غیرهم نام بزرگ در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p < 0/05$ می‌باشد.

نتایج مربوط به آنالیز میکروبی نمونه‌های نگهداری شده در یخچال
میزان بار باکتریایی کل
 تغییرات میزان بار باکتریایی کل تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال (1 ± 4 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 روز در جدول 6 مشاهده می‌شود.

میزان این شاخص در نمونه‌های فیله دارای پوشش ماهی شعری معمولی طی دوره نگهداری تفاوت معنی‌داری نشان ندادند ($p > 0/05$). مقایسه میزان تری‌متیل آمین در تیمارهای مختلف نشان داد که کمترین مقدار مربوط به نمونه پوشش کیتوزان + بسته بندی تحت خلاء ($7/27$ میلی‌گرم بر 100 گرم نمونه) و بیشترین مقدار مربوط به نمونه شاهد ($16/27$ میلی‌گرم بر 100 گرم نمونه) در روز آخر بود.

جدول 6- تغییرات مقادیر بار باکتریایی کل (\log_{10} cfu/g) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال به مدت 12 روز.

تیمارها	دوره نگهداری (روز)	صفر	3	6	9	12
شاهد		2/80±0/37 ^{eA}	4/98±0/38 ^{dA}	7/12±0/57 ^{cA}	9/48±0/62 ^{bA}	13/24±0/71 ^{aA}
بسته‌بندی تحت خلاء		2/60±0/28 ^{dA}	4/91±0/40 ^{cAB}	6/89±0/44 ^{bcA}	7/68±0/26 ^{bB}	11/15±1/27 ^{aA}
فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی		3/02±0/35 ^{dA}	4/08±0/34 ^{dABC}	5/98±0/16 ^{cAB}	7/90±0/34 ^{bB}	11/37±0/64 ^{aA}
فیلم کیتوزان + تحت خلاء		2/73±0/21 ^{eA}	3/69±0/15 ^{dC}	4/69±0/23 ^{cC}	6/22±0/48 ^{bC}	7/68±0/29 ^{aB}
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی		2/73±0/24 ^{eA}	3/91±0/20 ^{dC}	5/57±0/27 ^{cBC}	7/16±0/11 ^{bBC}	8/72±0/30 ^{aB}
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء		2/87±0/16 ^{dA}	4/01±0/10 ^{cBC}	4/78±0/24 ^{cC}	6/89±0/51 ^{bBC}	8/25±0/21 ^{aB}

حروف غیرهم نام کوچک در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین روزها و حروف غیرهم نام بزرگ در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p < 0/05$ می‌باشد.

میزان این شاخص از \log_{10} cfu/g 3/56-3/93 در روز صفر متغیر بود. نتایج نشان داد که میزان باکتری‌های سرمادوست در نمونه‌های شاهد و تیمار شده طی دوره نگهداری افزایش معنی‌داری را نشان داد ($p < 0/05$). کمترین و بیشترین مقدار باکتری‌های سرمادوست به ترتیب در نمونه‌های پوشش کیتوزان + بسته بندی تحت خلاء ($6/25 \log_{10}$ cfu/g) و شاهد ($8/70 \log_{10}$ cfu/g) در روز 12 مشاهده شد.

میزان بار باکتریایی کل از \log_{10} cfu/g 2/60-3/02 در روز صفر متغیر بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان این شاخص در همه نمونه‌ها طی دوره نگهداری روند افزایشی داشت ($p < 0/05$). کمترین مقدار بار باکتریایی کل در نمونه فیلم کیتوزان + بسته بندی تحت خلاء ($7/68 \log_{10}$ cfu/g) و بیشترین مقدار در نمونه شاهد (\log_{10} 13/24cfu/g) در روز 12 مشاهده شد.

میزان باکتری‌های سرمادوست

در جدول 7 تغییرات میزان باکتری‌های سرمادوست طی نگهداری در یخچال (1 ± 4 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 روز مشاهده می‌شود.

جدول 7- تغییرات مقادیر باکتری‌های سرمادوست (\log_{10} cfu/g) تیمارهای مختلف ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال به مدت 12 روز.

تیمارها	دوره نگهداری (روز)	صفر	3	6	9	12
شاهد		3/93±0/24 ^{dA}	4/24±0/17 ^{dA}	5/97±0/43 ^{cA}	7/03±0/40 ^{bA}	8/70±0/30 ^{aA}
بسته بندی تحت خلاء		3/71±0/24 ^{dA}	3/64±0/31 ^{dA}	5/66±0/43 ^{cAB}	7/01±0/04 ^{bA}	8/16±0/24 ^{aA}
فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی		3/76±0/39 ^{cA}	4/05±0/16 ^{cA}	5/03±0/15 ^{bAB}	5/57±0/17 ^{bB}	6/66±0/28 ^{aB}
فیلم کیتوزان + تحت خلاء		3/56±0/28 ^{cA}	3/69±0/26 ^{cA}	4/79±0/12 ^{bB}	5/35±0/14 ^{bB}	6/33±0/09 ^{aB}
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی		3/84±0/16 ^{cA}	3/72±0/09 ^{cA}	4/60±0/35 ^{cB}	5/63±0/41 ^{bB}	6/67±0/29 ^{aB}
پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء		3/83±0/17 ^{bA}	3/89±0/19 ^{bA}	4/62±0/25 ^{bB}	5/59±0/41 ^{aB}	6/25±0/33 ^{aB}

حروف غیرهم نام کوچک در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین روزها و حروف غیرهم نام بزرگ در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p < 0/05$ می‌باشد.

جدول 8 مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده امتیاز همه شاخص‌های حسی با گذشت زمان نگهداری کاهش معنی داری را نشان دادند ($P > 0/05$).

نتایج مربوط به ارزیابی حسی نمونه‌های پخته شده
نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های پخته شده ماهی شعری معمولی طی نگهداری در یخچال (1 ± 4 درجه سانتی گراد) به مدت 12 روز در

جدول 8- نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های پخته شده ماهی شعری معمولی نگهداری شده در یخچال

شاخص حسی	تیمار/دوره نگهداری	صفر	3	6	9	12
بافت	شاهد	5/00±0/00 ^{aA}	4/41±0/13 ^{bAB}	4/16±0/17 ^{bA}	3/12±0/29 ^{cA}	1/64±0/25 ^{dA}
	بسته بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/64±0/14 ^{abA}	4/21±0/18 ^{bA}	3/17±0/24 ^{cA}	2/19±0/25 ^{dA}
	فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/21±0/12 ^{bB}	3/32±0/21 ^{cb}	2/96±0/37 ^{cA}	2/10±0/32 ^{dA}
	فیلم کیتوزان+تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/37±0/13 ^{bAB}	4/10±0/14 ^{bA}	3/08±0/30 ^{cA}	1/98±0/26 ^{dA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/50±0/11 ^{abAB}	4/14±0/22 ^{bA}	2/35±0/32 ^{cA}	2/25±0/20 ^{dA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/62±0/12 ^{aA}	4/46±0/18 ^{aA}	2/92±0/34 ^{bA}	2/14±0/26 ^{cA}
بو	شاهد	5/00±0/00 ^{aA}	4/50±0/12 ^{aB}	3/64±0/12 ^{bBC}	3/37±0/28 ^{bA}	1/67±0/26 ^{dA}
	بسته بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/42±0/16 ^{abB}	4/07±0/15 ^{bABC}	2/85±0/33 ^{cA}	2/00±0/28 ^{dA}
	فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/50±0/13 ^{aB}	3/55±0/18 ^{bC}	2/94±0/29 ^{cA}	2/08±0/26 ^{dA}
	فیلم کیتوزان+تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/62±0/11 ^{abAB}	4/25±0/22 ^{bA}	2/75±0/30 ^{cA}	1/75±0/18 ^{dA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/80±0/08 ^{abAB}	4/17±0/19 ^{bAB}	2/35±0/36 ^{cA}	2/03±0/25 ^{dA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/92±0/07 ^{aA}	4/32±0/18 ^{bA}	2/85±0/33 ^{cA}	2/42±0/24 ^{cA}
طعم	شاهد	5/00±0/00 ^{aA}	4/57±0/20 ^{abB}	4/06±0/15 ^{bAB}	3/10±0/33 ^{cA}	1/67±0/24 ^{dA}
	بسته بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/73±0/12 ^{aAB}	4/08±0/21 ^{bAB}	2/91±0/25 ^{cA}	2/01±0/21 ^{dA}
	فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/50±0/10 ^{aB}	3/57±0/16 ^{bB}	2/85±0/32 ^{cA}	1/92±0/30 ^{dA}
	فیلم کیتوزان+تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/80±0/07 ^{abAB}	4/30±0/16 ^{bA}	3/25±0/35 ^{cA}	2/17±0/26 ^{dA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/82±0/08 ^{aAB}	3/91±0/23 ^{bAB}	2/32±0/33 ^{cA}	2/25±0/27 ^{dA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/94±0/03 ^{abA}	4/32±0/18 ^{bA}	2/91±0/38 ^{cA}	2/19±0/27 ^{dA}
رنگ	شاهد	5/00±0/00 ^{aA}	4/41±0/16 ^{aB}	4/35±0/21 ^{aAB}	3/46±0/28 ^{bA}	1/67±0/23 ^{dA}
	بسته بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/37±0/17 ^{bB}	4/23±0/18 ^{bAB}	3/32±0/29 ^{cA}	2/39±0/26 ^{dA}
	فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/30±0/12 ^{bB}	3/51±0/24 ^{cC}	2/96±0/31 ^{cAB}	2/03±0/28 ^{dA}
	فیلم کیتوزان+تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/46±0/16 ^{abAB}	4/26±0/18 ^{bAB}	3/23±0/31 ^{cAB}	2/12±0/25 ^{dA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/85±0/06 ^{aA}	3/89±0/19 ^{bBC}	2/32±0/33 ^{cb}	2/07±0/25 ^{cA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/85±0/07 ^{aA}	4/55±0/15 ^{aA}	2/76±0/35 ^{bAB}	2/42±0/28 ^{cA}
پذیرش کلی	شاهد	5/00±0/00 ^{aA}	4/50±0/13 ^{abBC}	4/30±0/15 ^{bA}	3/44±0/26 ^{cA}	1/71±0/24 ^{dA}
	بسته بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/48±0/13 ^{abBC}	4/29±0/12 ^{bA}	3/35±0/31 ^{cA}	2/49±0/27 ^{dA}
	فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/42±0/11 ^{bC}	3/83±0/13 ^{cb}	3/16±0/30 ^{dA}	2/23±0/26 ^{eA}
	فیلم کیتوزان+تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/50±0/11 ^{abBC}	4/32±0/17 ^{bA}	3/12±0/31 ^{cA}	2/01±0/27 ^{dA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی	5/00±0/00 ^{aA}	4/78±0/06 ^{abAB}	4/14±0/15 ^{bAB}	2/42±0/36 ^{cA}	2/10±0/25 ^{cA}
	پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء	5/00±0/00 ^{aA}	4/91±0/04 ^{aA}	4/41±0/14 ^{aA}	2/89±0/37 ^{bA}	2/53±0/23 ^{dA}

حروف غیرهم نام کوچک در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین روزها و حروف غیرهم نام بزرگ در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p < 0/05$ می باشد

معنی‌داری بین هیچ کدام از نمونه‌ها مشاهده نشد ($P > 0/05$) ولی در مجموع در بین همه تیمارها کمترین مقدار تیوباریتوریک اسید مربوط به نمونه فیلم کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء بود. این امر نشان‌دهنده اثر مثبت بسته‌بندی تحت خلاء در جلوگیری و به تعویق انداختن فساد فیله ماهی می‌باشد. افزایش تیوباریتوریک اسید در بسته‌بندی معمولی به دلیل وجود اکسیژن در محیط است، بسیاری از آنزیم‌های باکتریایی با اضافه شدن اکسیژن به محیط به اکسیداسیون لیپیدها کمک می‌کنند (Huss, 1995; Hernandez et al., 2009). نتایج مشابهی توسط مطالعه Anlich و همکاران (2001) روی تأثیر بسته‌بندی‌های مختلف بر خصوصیات میکروبیولوژیکی و اسیدهای چرب فیله گربه ماهی آفریقایی (*Clarias batrachus*) گزارش شد. مطالعه Gimenez و همکاران (2002) و Arashisar و همکاران (2004) نیز گویای همین مطلب است. Erkan و همکاران (2007) گزارش کردند که فیله‌های نگهداری شده تحت خلاء کمترین مقدار تیوباریتوریک اسید را دارا بودند. هر دو ویژگی آنتی‌اکسیدانی و مانع‌کنندگی در برابر اکسیژن در کیتوزان ممکن است در کنترل اکسیداسیون چربی دخیل باشد. شلاته کردن یون‌های فلزی دلیل دیگری است که باعث می‌شود کیتوزان به‌عنوان آنتی‌اکسیدان طبیعی برای ثابت محتوی لیپید مواد غذایی و افزایش ماندگاری آن‌ها مد نظر باشد (Feng et al., 2004).

مقادیر بازهای از ته فرار

بازهای از ته فرار به مجموعه‌ای از ترکیبات مانند آمونیاک، دی‌متیل‌آمین و غیره گفته می‌شود که بر اثر فساد باکتریایی تولید می‌شوند و اغلب مقدار آن‌ها به‌عنوان شاخص شیمیایی برای ارزیابی کیفی و ماندگاری محصولات دریایی به‌کار می‌روند (et al., 2005). مقدار آن‌ها بسته به گونه ماهی، نوع فرآورده تولیدی و غیره متفاوت است. همانطور که در جدول 2 مشاهده می‌کنیم مقادیر اولیه بازهای از ته فرار طی دوره نگهداری از 17/20 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم نمونه در تیمار فیلم کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء تا 25 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم در نمونه شاهد متغیر بود و در روز آخر به 34/40 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم نمونه در تیمار پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء تا 57/06 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم در نمونه شاهد رسید. افزایش این شاخص مربوط به فعالیت باکتری‌ها و آنزیم‌های درونی می‌باشد که نتیجه سوخت و ساز باکتریایی اسیدهای آمینه ماهی، تجمع آمونوم، مونو آمیل آمین¹، دی‌متیل آمین²، تری‌متیل آمین و سایر مواد فرار دیگر است و منجر به بد طعمی می‌شوند (Goulas and Kontominas, 2007).

در همه شاخص‌ها بین هیچ کدام از تیمارها در روزهای صفر، 9 و 12 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$). کمترین و بیشترین مقدار امتیاز بافت به ترتیب مربوط به نمونه‌های شاهد (1/64) و پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی (2/25) در دوره آخر بود. همچنین شاخص بو نمونه‌های شاهد و پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء کمترین (1/67) و بیشترین (2/42) مقادیر را در روز 12 نشان داد. کمترین و بیشترین مقدار امتیاز طعم را نمونه‌های شاهد و پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی داشتند که به ترتیب دارای مقادیر 1/67 و 2/25 بودند. نمونه پوشش کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء بیشترین امتیاز رنگ و پذیرش کلی را نیز نشان داد.

نتایج و بحث

مقادیر تیوباریتوریک اسید

مواد اولیه اکسیداسیون (هیدروپراکسیدها) ناپایدار و مستعد تجزیه می‌باشند. محصولات ثانویه اکسیداسیون شامل آلدهیدها، کتون‌ها، الکل‌ها، هیدروکربن‌ها، اسیدهای آلی و ترکیبات اپوکسی می‌باشند. مالون آلدهید یک ترکیب جزئی از اسیدهای چرب با سه پیوند دوگانه و یا بیشتر از آن است که در اثر تجزیه اسیدهای چرب چند غیراشباع طی اکسیداسیون چربی تشکیل می‌شود. این ماده معمولاً به‌عنوان شاخصی در ارزیابی روند تغییرات اکسیداسیون چربی استفاده می‌شود (Shahidi and Zhong, 2005). جدول 1 تغییرات این شاخص را طی نگهداری در یخچال نشان می‌دهد. میزان تیوباریتوریک اسید در همه تیمارهای شعری معمولی طی دوره نگهداری روند افزایشی داشت. افزایش مقدار تیوباریتوریک اسید طی نگهداری در یخچال ممکن است ناشی از دهیدروژنه شدن بافت ماهی و افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع باشد (Chytiri et al., 2004). پیشنهاد شده که حداکثر میزان قابل قبول تیوباریتوریک اسید برای کیفیت مطلوب ماهی (منجمد، یخچال‌گذاری شده و یا نگهداری شده در یخ) 5 میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم گوشت است در حالی که تا 8 میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم گوشت هم قابل مصرف است (Salam, 2007). در نمونه فیلم کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء مقدار تیوباریتوریک اسید تا روز 6 افزایش و از روز 6 به بعد کاهش یافت. این افزایش و کاهش احتمالاً به این دلیل است که شاخص تیوباریتوریک اسید، میزان محصولات ثانویه اکسیداسیون به‌ویژه آلدهیدها را نشان می‌دهد (Aubourg et al., 2001). مقدار تیوباریتوریک اسید در فیله‌های پوشش‌دار همراه و بدون بسته‌بندی تحت خلاء تا روز 6 افزایش، سپس از روز 6 تا 9 کاهش و در روز آخر نیز افزایش این شاخص را شاهد بودیم که با نتایج جواهری بابل و همکاران (1390) همخوانی دارد. اگرچه از لحاظ آماری تفاوت

به واسطه تجزیه هیدروپراکسیدها قابل توجه می‌باشد. به علاوه اسیدهای چرب آزاد در مقایسه با مولکول‌های چربی بزرگتر (یعنی تری‌گلیسرید و فسفولیپید) دارای اندازه مولکولی کوچکتری بوده و سرعت اکسیداسیون آن بیشتر است (Losada *et al.*, 2007). شکل‌گیری اسیدهای چرب آزاد طی نگهداری کوتاه مدت به علت کاتالیز شدن چربی‌ها توسط آنزیم‌های داخلی (عمدتا لیپاز و فسفولیپاز) صورت می‌گیرد (Losada *et al.*, 2007)، البته رشد برخی از باکتری‌های ویژه فساد نیز به دلیل تولید آنزیم‌های لیپاز و فسفولیپاز اغلب باعث افزایش اسیدهای چرب آزاد محصولات غذایی می‌شوند (Kykkidou *et al.*, 2009).

در مطالعه Nowzari و همکاران (2013) مقدار اسیدهای چرب آزاد نمونه شاهد به صورت معنی‌داری بیشتر از باقی تیمارها بود ($P < 0/05$)، اما بین نمونه‌های فیلم و پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی و فیلم و پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$)، دلیل پایین‌تر بودن میزان اسیدهای چرب آزاد در تیمارهای دارای فیلم و پوشش کیتوزان را شاید بتوان به فعالیت شلاته‌کننده با پاره‌ای از فلزات پیوند یافته و لذا کیتوزان به عنوان عامل شلاته‌کننده با پاره‌ای از فلزات پیوند یافته و لذا از رشد میکروبی جلوگیری می‌کند، همچنین کیتوزان به عنوان بازدارنده فعالیت آنزیم‌های مختلف شناسایی شده است (اجاق، 1389). میزان این شاخص در دوره آخر به ترتیب در نمونه‌های بسته‌بندی شده تحت خلاء، فیلم کیتوزان و بسته‌بندی معمولی، فیلم کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء و پوشش کیتوزان + بسته‌بندی معمولی به مقادیر 1/84، 3/37، 2/08 و 2/61 درصد اولئیک اسید رسید. در نهایت در بین همه تیمارها، پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء کمترین مقدار اسیدهای چرب آزاد را دارا بود در صورتی که تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده نشد ($P > 0/05$).

مقادیر pH

تغییرات شاخص pH در جدول 4 نمایش داده شده است. مقدار این شاخص از 6/76 در نمونه پوشش کیتوزان و بسته‌بندی معمولی تا 7/21 در نمونه شاهد متغیر بود. طی کل دوره نگهداری در همه نمونه‌ها مقدار pH روند افزایشی را طی نمود. در روز 12 کمترین مقدار pH مربوط به نمونه پوشش کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء (7/05) و بیشترین مقدار مربوط به نمونه شاهد (8/27) بود. از آنجا که آلودگی باکتریایی در نمونه شاهد بیشتر بوده و متعاقباً منجر به تولید ترکیبات نیتروژنی می‌گردد، نمونه شاهد بالاترین میزان pH را به خود اختصاص داده است. مقدار pH طی دوره نگهداری بین هیچ کدام از نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($P > 0/05$) ولی به طور کلی در بین همه نمونه‌ها، کمترین مقدار pH مربوط به نمونه پوشش

ماهیان دریایی میزان 20-15 میلی‌گرم نیتروژن بر 100 گرم گوشت نشان‌دهنده کیفیت مطلوب می‌باشد و میزان 50 میلی‌گرم بر 100 گرم نشان‌دهنده کیفیت پایین می‌باشد (Connell, 1980)، که در این مطالعه میزان بازهای ازته فرار نمونه شاهد در روز 12 از این حد تجاوز نمود. البته بسیاری از محققین حد مجاز بازهای نیتروژنی فرار در فرآورده‌های شیلاتی را برای مصارف انسانی 30-35 میلی‌گرم بر 100 گرم گوشت اعلام نمودند (Conell, 1980). در این مطالعه مقدار بازهای ازته فرار در دوره دوم در همه نمونه‌ها، به جز نمونه شاهد و در دوره آخر نمونه پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء کمتر از حد مجاز برای مصارف انسانی بود، همچنین در روز 6 نگهداری، مقدار بازهای ازته فرار نمونه شاهد به طور معنی‌داری بالاتر از تمامی نمونه‌های پوشش‌دار و دارای فیلم شد ($P < 0/05$). به طور کلی در بین همه تیمارها پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء دارای کمترین میزان بازهای ازته فرار بود و تفاوت معنی‌داری را نمونه شاهد نشان داد ($P < 0/05$). کاهش مقدار بازهای ازته فرار در نمونه‌های بسته‌بندی شده در خلاء می‌تواند به خاطر کاهش فعالیت و جمعیت باکتری‌ها برای اکسید شدن و برداشتن آمین از ترکیبات نیتروژنی غیر پروتئینی به دلیل اکسیژن کمتر یا هر دو باشد (Manju *et al.*, 2007). خصوصیت ضد میکروبی پوشش کیتوزان به دلیل مهاجرت راحت‌تر عوامل ضد میکروبی بهتر از فیلم کیتوزان می‌باشد (Ojagh *et al.*, 2010)، که در این مطالعه نیز نمونه‌های تیمار شده با پوشش کیتوزان نسبت به فیلم نتیجه بهتری را نشان دادند.

مقادیر اسیدهای چرب آزاد

افزایش اکسیداسیون چربی، گسترش طعم نامطلوب، تسریع در فساد و کاهش کیفیت محصول و دنا توره شدن پروتئین از نتایج افزایش اسیدهای چرب آزاد در ماهیان نگهداری شده در یخچال است. بر اساس نتایج به دست آمده در جدول 3 میزان اسیدهای چرب آزاد در همه تیمارها طی کل دوره نگهداری روند افزایشی داشت. در روز صفر کمترین مقدار مربوط به تیمار فیلم کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء (0/95 درصد اولئیک اسید) و بیشترین مقدار مربوط به تیمار فیلم کیتوزان + بسته‌بندی معمولی (1/77 درصد اولئیک اسید) بود. افزایش میزان اسیدهای چرب آزاد در نمونه‌ها سبب ایجاد طعم و بوی نامطلوب می‌شود، زیرا با پروتئین واکنش داده و سبب دنا توره شدن پروتئین و تغییرات بافتی می‌شود. همچنین رابطه بین افزایش مقدار اسیدهای چرب آزاد و کاهش تازگی ماهی گزارش شده است (Ozogul *et al.*, 2005; Roriguez *et al.*, 2006). تشکیل اسیدهای چرب آزاد به تنهایی باعث کاهش ارزش تغذیه‌ای نمی‌شود، با این وجود ارزیابی آن در بررسی فساد ماهی مهم می‌باشد. این امر بر اساس کاتالیزوری گروه کربوکسیل در تشکیل رادیکال‌های آزاد

آزمون میکروبی نمونه‌های نگهداری شده در یخچال مقادیر باکتری‌های کل

نتایج جدول 6 نشان می‌دهد که به‌طور کلی میزان باکتری‌های کل در تیمارهای مختلف طی دوره نگهداری روند افزایشی داشت، شمارش کلی میکروبی در مراحل اولیه نگهداری فیله ماهی کرومید سبز (*Etroplus suratensis*) $4/94-6/88 \log_{10} \text{cfu/g}$ بود که طی 18 روز بسته‌بندی تحت خلاء، شمارش کلی باکتری‌ها روند افزایشی داشت (Manju et al., 2008). علاوه بر این افزایش بار باکتریایی کل در گوشت ماهی در طول نگهداری گزارش شده است (اجاق و همکاران، 1389). میزان این شاخص به مقادیر $7/68 \log_{10} \text{cfu/g}$ و $13/24 \log_{10} \text{cfu/g}$ به ترتیب در نمونه‌های فیلم کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء و شاهد در روز 12 رسید. Li و همکاران (2012) در مطالعه تأثیر ترکیب پلی فنول چای و رزماری با پوشش کیتوزان روی ویژگی کیفی ماهی *Pseudosciaena croce* افزایش بار باکتریایی کل در انتهای دوره نگهداری را گزارش کردند. مقدار باکتری‌های کل در مطالعه Erkan و همکاران (2007) و Etemadi و همکاران (2013) در همه نمونه‌ها افزایش یافت. حد مجاز میزان بار باکتریایی کل برای ماهی خام $7 \log_{10} \text{cfu/g}$ اعلام شده است (Sallam, 2007)، که در مطالعه حاضر در اغلب نمونه‌ها در 3 دوره آخر از این حد تجاوز نمود. علاوه بر این مقدار باکتری‌های کل در روز 12 در نمونه‌های فیلم و پوششی کیتوزان اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند ($P>0/05$). نتایج تحقیق Ojagh و همکاران (2010) بیان‌کننده تأثیر ضد میکروبی کیتوزان بود. مکانیسم عمل ضد میکروبی کیتوزان به دلیل واکنش گروه‌های آمین دارای بار مثبت کیتوزان با درشت مولکول‌های دارای بار منفی در سطح سلول میکروبی می‌باشد. اگرچه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین اغلب نمونه‌ها مشاهده نشد ($P>0/05$) ولی به‌طور کلی در دوره آخر در بین همه تیمارها فیلم کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء کمترین میزان بار باکتریایی کل را داشت. در رابطه با خاصیت ضد میکروبی فیلم‌های خوراکی کیتوزان در تحقیقات مختلف نتایج متناقضی گزارش شده است. Ojagh و همکاران (2010) بیان کردند که فیلم خالص کیتوزان در محیط آگار هیچ هاله بازدارندگی نداشته است در حالی که فیلم کیتوزان غنی شده با عصاره دارچین دارای خاصیت ضد میکروبی بود Basiri و همکاران (2013) میزان باکتری‌های مزوفیل کمتری را در نمونه‌های بسته‌بندی شده تحت خلاء نسبت به شاهد گزارش کردند.

مقادیر باکتری‌های سرما دوست

باکتری‌های سرما دوست گرم منفی مثل سودوموناس‌ها³، آلتروموناس‌ها⁴، شوانلاها⁵ و فلاوو باکترها⁶ گروه میکروارگانیزم‌های

کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء بود. کاهش pH در بسته‌بندی‌های تحت خلاء می‌تواند به دلیل تولید دی‌اکسید کربنی که از بافت صورت می‌گیرد (Ashie et al., 1996) و یا به دلیل ایجاد محیط بی‌هوازی در بسته‌بندی‌های تحت خلاء باشد.

مقادیر تری متیل آمین

بر اساس نتایج به‌دست آمده از جدول 5 میزان تری متیل آمین در روز صفر نگهداری از 6/15 میلی‌گرم بر 100 گرم گوشت در نمونه پوشش کیتوزان + بسته‌بندی معمولی تا 7/32 میلی‌گرم بر 100 گرم گوشت در نمونه بسته‌بندی شده تحت خلاء متغیر بود و در روز آخر به مقادیر 7/27 میلی‌گرم بر 100 گرم گوشت و 16/27 میلی‌گرم بر 100 گرم گوشت به ترتیب در نمونه‌های پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء و شاهد رسید. مطالعه Basiri و همکاران (2013) نیز تأثیر ترکیب بسته‌بندی تحت خلاء و عصاره پوست انار بر طول عمر و ویژگی‌های کیفی میگوی پا سفید غربی (*Peneus vannamei*) افزایش مقدار تری متیل آمین را در انتهای دوره نگهداری نشان داد. افزایش مقدار تری متیل آمین طی دوره نگهداری نشان‌دهنده غلظت تری متیل آمین اکساید در عضله ماهی است. تری متیل آمین از تجزیه تری متیل آمین اکساید به‌وجود می‌آید که وابسته به فعالیت‌های آنزیمی و باکتریایی است. در روز 6 نگهداری بین نمونه‌های تیمار شده با فیلم و پوشش کیتوزان اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P>0/05$). نتایج این مطالعه نشان داد که نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم و پوشش کیتوزان تا روز 9 کمتر از محدوده مجاز بود. مقایسه میزان تری متیل آمین بین همه تیمارها نشان داد که نمونه پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء دارای کمترین مقدار تری متیل آمین بود (7/27 میلی‌گرم بر 100 گرم گوشت). مطالعه Mohan و همکاران (2012) نشان داد که پوشش 1% و 2% کیتوزان باعث کاهش میزان تری متیل آمین به اندازه 26/1% و 49% نسبت به نمونه شاهد شد. می‌توان نتیجه گرفت که پوشش کیتوزان با ممانعت از رشد میکروب‌ها باعث تولید کمتر تری متیل آمین می‌شود. کم شدن میزان تری متیل آمین در نمونه‌های بسته‌بندی شده تحت خلاء احتمالاً به دلیل کم شدن فعالیت آنزیم‌های داخلی یا باکتریایی یا هر دو می‌باشد (Kawai, 1996). کاهش در میزان تری متیل آمین نمونه‌های بسته‌بندی شده در شرایط خلاء در مطالعه Basiri و همکاران (2013) مشاهده شد، همچنین مطالعه Erkan و همکاران (2007) روی ماهی ماکرل بسته‌بندی شده در شرایط خلاء، اتمسفر تغییر یافته و اتمسفر معمولی نیز گویای همین مطلب است.

نگهداری شده در فریزر (18- درجه سانتی‌گراد) نیز حاکی از کیفیت ماندگاری بالاتر نمونه‌های دارای پوشش نسبت به نمونه شاهد در طی سه ماه نگهداری بود، که ممکن است به دلیل ویژگی‌های عملکردی کیتوزان نظیر فعالیت ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضد اکسیژنی باشد (Fan et al., 2009). مشابه با این نتایج گزارش شده که کیتوزان باعث افزایش طول عمر و بهبود ویژگی‌های کیفی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و کپور شد که با نتایج میکروبی و حسی منطبق بود (Fan et al., 2009; Ojagh et al., 2010). Fan et al. (2010) و همکاران (2009) گزارش کردند که نمونه‌های با پوشش کیتوزان امتیاز حسی بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها نشان دادند. مقدار بالاتر امتیاز حسی در نمونه‌های تیمار شده با عصاره پوست انار و بسته‌بندی شده تحت خلاء به دلیل مقدار کمتر باکتری‌ها می‌باشد (Basiri et al., 2013). میانگین ارزیابی حسی در برگ‌های بدون پوشش ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) برای نمونه‌های شاهد و بسته‌بندی شده تحت خلاء به ترتیب به مقادیر 4/75 و 5/19 رسید (دقیق روحی و همکاران، 1391). Rajesh و همکاران (2002) نیز گزارش کردند که بهترین امتیاز حسی برای نمونه شاهد در روز 31 و برای نمونه بسته‌بندی شده در شرایط خلاء در روز 34 بود. می‌توان نتیجه گرفت که بسته‌بندی تحت خلاء نسبت به بسته‌بندی معمولی در حفظ کیفیت و خواص حسی ارجحیت دارد.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از بیوپلیمرهای زیست تخریب‌پذیر در تولید مواد بسته‌بندی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این مواد زیست تخریب‌پذیر کیتوزان می‌باشد که به دلیل دارا بودن ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی بالا به صورت فیلم و پوشش‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین انواع روش‌های بسته‌بندی به حفظ کیفیت ماهی و سایر فرآورده‌های دریایی کمک می‌کند. به همین جهت در مطالعه حاضر به تاثیر ترکیبی فیلم و پوشش کیتوزان همراه با بسته‌بندی تحت خلاء در نگهداری ماهی شعری معمولی (*Lethrinus nebulosus*) پرداخته شد. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، پوشش و فیلم کیتوزان همراه و بدون بسته‌بندی تحت خلاء قادر به کنترل اسیدهای چرب آزاد، تری متیل آمین، تیوباربتوریک اسید، بازهای ازته فرار، باکتری‌های کل، سرما دوست و pH شد. ویژگی‌های حسی و شاخص رنگ نیز در نمونه‌های تیمار شده با فیلم و پوشش کیتوزان بهبود یافت. به طور کلی نتیجه تحقیق حاضر استفاده از فیلم و پوشش‌های خوراکی به ویژه فیلم و پوشش‌های تهیه شده از کیتوزان را توصیه می‌کند. تکنولوژی بسته‌بندی تحت خلاء نیز می‌تواند به عنوان یک

عامل فساد ماهی و فرآورده‌های آن در شرایط نگهداری هوایی در دماهای سرد می‌باشد (Chytiri et al., 2004; Salam, 2007). بر اساس نتایج جدول 7، میزان باکتری‌های سرما دوست در کل دوره نگهداری در همه تیمارها روند افزایشی را طی نمود. در دوره اول میزان این شاخص از $3/56 \log_{10} \text{ cfu/g}$ در نمونه فیلم کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء تا $3/93 \log_{10} \text{ cfu/g}$ در نمونه شاهد متغیر بود و در روز آخر به مقادیر $6/25 \log_{10} \text{ cfu/g}$ و $8/70 \log_{10} \text{ cfu/g}$ به ترتیب در نمونه‌های پوشش کیتوزان و بسته‌بندی تحت خلاء و شاهد رسید. محدوده فساد باکتری‌های سرما دوست در فرآورده‌هایی چون فیله ماهی $10^6 - 10^7 \log_{10} \text{ cfu/g}$ است (Erkan et al., 2006) که در روز آخر در نمونه شاهد و بسته‌بندی شده تحت خلاء بالاتر از این حد مشاهده شد. میزان باکتری‌های سرما دوست در روزهای 9 و 12 در نمونه‌های تیمار شده با فیلم و پوشش کیتوزان اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند ($P > 0/05$). مکانیسم عمل کیتوزان می‌تواند به صورت خراشیدن لایه لیپوپولی‌ساکاریدی غشای خارجی باکتری و یا عملکرد آن به عنوان سد در مقابل نفوذ اکسیژن باشد (Jeon et al., 2002). با وجود عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها ($P > 0/05$) ولی در مجموع در بین همه نمونه‌ها، نمونه پوشش کیتوزان + بسته‌بندی تحت خلاء دارای کمترین مقدار باکتری‌های سرمادوست بود. در تحقیقات مختلفی به خواص ضدباکتریایی پوشش‌های کیتوزانی اشاره شده است (Jeon et al., 2002). Jeon و همکاران (2002) گزارش نمودند که تعداد باکتری‌های سرما دوست در ماهی کاد (*Gadus morhua*) پوشش داده شده با کیتوزان کمتر از $6 \log_{10} \text{ cfu/g}$ در کل دوره نگهداری (12 روز) بود.

آزمون حسی نمونه‌های پخته

همان‌طور که گفته شد حد نهایی مطلوبیت برای نمونه‌های ماهی جهت مصرف انسانی تا امتیاز 4 در نظر گرفته شد (Ojagh et al., 2010). کلیه شاخص‌های حسی نمونه‌های پخته شده با گذشت زمان نگهداری کاهش یافت و در روزهای 9 و 12 به درجه عدم مقبولیت رسید. جدول 8 تغییرات این شاخص را طی دوره نگهداری نشان می‌دهد. در شاخص‌های بافت، بو، طعم و پذیرش کلی نمونه‌های تیمار شده با فیلم و پوشش کیتوزان در روزهای 9 و 12 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$). یافته‌های اجاق و همکاران (1389) در مورد فیله‌های قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) دارای پوشش کیتوزان و کیتوزان و عصاره دارچین

- 2 *Alteromonas*
- 3 *Shewanella*
- 4 *Flavobacter*

منابع

- اجاق، س. م.، رضایی، م.، رضوی، س. ه. و حسینی، س. م. ه. 1389. اثر پوشش‌های آنتی میکروبی در افزایش ماندگاری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*). فصلنامه علوم و صنایع غذایی، 34
- تاج‌الدین، ب. (1380). بسته‌بندی مواد غذایی با اتمسفر تغییر یافته (ترجمه). سازمان تحقیقات، آموزش و کشاورزی، تهران، 401 صفحه.
- جوهری بابلی، م.، ولایت زاده، م.، جاگیر، م. و پاشای، ا. 1394. تأثیر بسته‌بندی تحت خلاء بر کیفیت و ماندگاری فیله ماهی فیتوفاگ طی دوره نگهداری در دمای یخچال (*Hypophthalmichthys molitrix*). بهداشت مواد غذایی، 1.
- Anelich, L. E., Hoffman, L.C., and Swanpoel, M.J. 2001. The influence of packaging methodology on the microbiological and fatty acid profiles of refrigerated African catfish fillets. *Journal of Applied Microbiology*. 91: 22-28.
- AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemists 15th (ed). Washington DC, Chapter, 35: 7-9.
- Arashisar, S., Hisar, O., Kaya, M., and Yanik, T. 2004. Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 97: 209–214.
- Ashie, I. N. A., Smith, J. P., and Simpson B. K. 1996. Spoilage and shelf life extension of fresh fish and shellfish. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 36: 87-121.
- Aubourg, S. 2001. Fluorescence study of the prooxidant activity of free fatty acids on marine lipids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81: 385-390.
- Basiri, S., Shekarforoush, S. S., Aminlari, M., Abhari, Kh., and Berizi, E. 2013. Influence of combined vacuum packaging and pomegranate peel extract on shelf life and overall quality of pacific white shrimp (*Peneus vannamei*) during refrigerated storage. *Iranian Journal of Veterinary Research*. 15: 23-29.
- Chytiri, S., Chouliara, I., Savvaidis, I. N., and Kontominas, M. G. 2004. Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. *Food Microbiology*. 21: 157-165.
- Connell, J.J. 1980. Marinades. Control of Fish Quality, Scotland: Torry Research Station Aberdeen, 102-105.
- Egan, H., Krik, R. S., and Sawyer, R. 1997. Pearson's chemical Analysis of food. 9th. pp: 609-634.
- Erkan, N., Ozden, O., and Inugur, M. 2007. The effects of modified atmosphere and vacuum packaging on quality of chub mackerel. *International Journal of Food Science and Technology*. 42: 1297-1304.
- Fan, W., Sun, J., Chen, Y., Qiu, J., Zhang, Y., and Chi, Y. 2009. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage. *Food Chemistry*. 115: 66-70.
- Feng, F., Liu, Y., Tian, F., Zhao, B., and Hu, K. 2004. Advances in researches on chitosan materials in bone repair. *Materials Review*. 18: 65-68.
- Goulas, A. E., and Kontominas, M. G. 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.
- Goulas, A.E., and Kontominas, M. G. 2007. Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*) Biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*. 100: 287-296.
- Hernandez, M. D., Lopez, M. B., Alvarez, A., Ferrandini, E., GarciaGarcia B., and Garrido, M. D. 2009. Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage. 54: 223-227.
- Huss, H.H. 1995. Quality and quality changes in fresh fish. In FAO Fisheries Technical, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 202 p.
- Jeon, Y. J., Kamil, J. Y. V. A., and Shahidi, F. 2002. Chitosan as an edible invisible film for quality preservation of herring and Atlantic cod. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 5167-5178.
- Kachele, R., Zhang, M., Gao, Z., and Adhikari, B. 2017. Effect of vacuum packaging on the shelf-life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets stored at 4 °C. *LWT-Food Science and Technology*. 80: 163-168.
- Kawai, T. 1996. Fish flavour. The Critical Review. *Food science and Nutrition*. 36: 257-298.
- Kykkidou, S., Giatrakou, V., Papavergou, A., Kontominas, M. G., and Savvaidis, I. N. 2009. Effect of thyme essential oil and packaging treatments on fresh Mediterranean swordfish fillets during storage at 4°C. *Food Chemistry*. 115: 169-175.
- Li, T., Hu, W., Li, J., Zhang, X., Zhu, J., and Li, X. 2012. Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chitosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Food Control*. 25: 101-106.
- Losada, V. Barros-Velazquez, J., and Aubourg, S.P. 2007. Rancidity development in frozen pelagic fish: Influence of slurry ice as preliminary chilling treatment. *LWT- Food Science and Technology*. 40: 991–999.

- Manju, S., Jose, L., Srinivasa Gopal, T. K., Ravishankar, C. N., and Lalitha, K.V. 2007. Effects of sodium acetate dip treatment and vacuum-packaging on chemical, microbiological, textural and sensory changes of Pearls spot (*Etroplus suratensis*) during chill storage. *Journal of Food Chemistry*. 102: 27-35.
- Masniyom, P., Soottawat, B., and Visessanguan, W. 2005. Combination effect of phosphate and modified atmosphere on quality and shelf-life extension of refrigerated seabass slices. *Journal of Food Science and Technology*. 38: 745-756.
- Mastromatteo, M., Danza, A., Conte, A., Muratore, G., and Nobile, M.A.D. 2010. Shelf-life of ready to use peeled shrimps as affected by thymol essential oil and modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Microbiology*. 144: 250-256.
- McMeekin, T.A., Olley, J. N., Roos, T., and Ratkowsky, D.A. Predictive microbiology theory and application. Resaerch Studies Press Taunton, Specified Spoilage level, 1993: 199-200.
- Mendes, R., and Goncalvez, A., 2008. Effect of soluble CO₂ stabilisation and vacuum packaging in the shelf life of farmed sea bream and sea bass fillets. *Journal of Food Science and Technology*. 43: 1678-1687.
- Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Lalitha, K. V., and Srinivasa Gopal, T.K. 2012. Effect of chitosan edible coating on the quality of double filleted Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*) during chilled storage. *Food Hydrocolloids*. 26 (1): 167-174.
- Nowzari, F., Shábanpour, B., and Ojagh, S.M. 2013. Comparison of chitosan–gelatin composite and bilayer coating and film effect on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*. 141: 1667-1672.
- Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H. and Hosseini, S. M. H., 2010. Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*. 120: 193-198.
- Ozogul, Y., Ozyurt, G., Ozogul, F., kuley, E., and Polat, A. 2005. Freshness assessment of European eel (*Anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. *Food Chemistry*. 92: 745-751.
- Pearson, D., 1976. The chemical analysis of food (7th ed). London Churchill living stone Publishing. E. U. Essien-Udom, 1995p.
- Perez-Alonso, F., Aubourg, S. P., Rodriguez O., and Barros-Velazquez, J. 2004, Shelf life extension of Atlantic pomfret (*Brama brama*) fillets by packaging under a vacuum skin system. *Journal of Food Research Technological*. 218: 313-317.
- Rajesh, R., Ravi Shankar, C. N., Srinivasa Gopal, T. K., and Varma, P. R. G. 2002. Effect of vaccum packaging and sodium acetate on the shelf life of Seer fish during iced storage. *Journal of Packaging Technology and Science*. 15: 241-245.
- Rodríguez, O., Barros-Velaázquez, J., Pindeiro, C., Gallardo, J. M., and Aubourg, S.P. 2006. Effects of storage in slurry ice on the microbial, chemical and sensory quality and on the shelf life of farmed turbot (*Psetta maxima*). *Food Chemistry*. 95: 270–278.
- Sallam, K.I. 2007. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Food Control*. 18: 566-575.
- Shahidi, F., and Zhong, Y. 2005. Lipid oxidation: measurement methods (Memorial university of New foundland, Canada, 357-385.
- Stamatis, N., and Arkoudelos, J. S. 2007. Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on microbial, chemical and sensory quality indicators of fresh, filleted *Sardina pilchardus* at 3 °C. *Journal of Food Science and Agriculture*. 87: 1164-1171.
- Woywoda, A.D, Shaw, S. J., Ke, P. J., and Burns, B.G. 1986. Recommended laboratory methods for assessment of fish quality. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences, 1448 p.
- Yu, D., Regenstein, J.M., Zang, J., Jiang, Q., Xia, W., and Xu, Y. 2018. Inhibition of microbial spoilage of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets with a chitosan-based coating during refrigerated storage. *International Journal of Food Microbiology*. 285: 61-68.



The effect of film and coating of chitosan with vacuum packaging on quality characteristics of Spangled emperor (*Lethrinus nebulosus*) fillets stored at 4 °C

M. Karimi Rezaabad¹, A. Khodanazary^{1*}, S. M. Hosseini¹

Received: 2018.11.14

Accepted: 2019.04.29

Introduction: The Spangled emperor (*Lethrinus nebulosus*) is one of the valued fish species in Persian Gulf, which due to its high nutritional quality and excellent sensory properties, is preferred by the customers in the south of Iran. Because this species is consumed domestically, it is very important to extend its shelf life, which is normally quite limited when kept refrigerated. Vacuum packaging (VP) is one of the methods of the natural preservation in order to delay the degradation and maintain the quality of the products longer. VP is widely used as a supplement to ice or refrigeration to decrease the supply of oxygen to the aerobic bacteria in the flesh to extend the shelf life of product. Chitosan have been used in seafood products to inhibit the growth of bacteria in stored fish in refrigerator and retarded the oxidation of unsaturated fatty acids in fish muscle before vacuum packaging. Chitosan, a linear polysaccharide of randomly distributed β -(1-4)-linked D-glucosamine and N-acetyl-D-glucosamine, is a biocompatible polysaccharide obtained from deacetylation of chitin. Edible coating is a thin layer of edible material formed as a coating on a food, while an edible film is a preformed thin layer which once formed can be placed on or between food components. In food industry, chitosan coatings have been used successfully because of some advantages such as edibility, biodegradability, aesthetic appearance and barrier properties, being nontoxic and non-polluting, as well as carrier of foods additives (i.e.: antioxidants, antimicrobials). Therefore, these coatings can retain quality of raw, frozen and processed foods including fish items by preventing bacterial growth and delaying lipid oxidation.

Materials and methods: *Lethrinus nebulosus* with an average weight of 500 g was caught with gill net in the Persian Gulf, Khorramshahr, Iran in July 2016. Fish samples were placed in crushed ice with a fish/ ice ratio 1:3 (w/w) and transported to the fish processing laboratory with 2-3 h after catch. They were washed with tap water and two fillets were obtained from each fish after removing the head and gutted. Chitosan solution was prepared with 1% (w/v) chitosan (Sigma Chemical Co., medium molecular weight, viscosity 200-800 cP) in 1% v/v acetic acid. To achieve complete dispersion of chitosan, the solution was stirred at room temperature to dissolve completely. Glycerol was added at 0.75 ml/g concentration as a plasticizer and stirred for 10 min. All films were obtained by casting 100 ml film forming solution on a nonstick surface (16*27cm), dried at ambient temperature (20°C) until a firm surface but still with adhesive properties was obtained. After evaporation the films were peeled off from the plates. Fillet samples were randomly assigned into four treatment lots consisting of: one control lot (un-coated), second lots packaged with VP, third lots wrapped with films prior to VP, fourth lots immersed for 30 s in chitosan solution. Then the fish fillets were removed and allowed to drain for 2 h at ambient temperature (20°C) in order to form the edible coating. All samples were stored at $4\pm 1^\circ\text{C}$ for 12 days. Chemical, microbiological and sensorial analyses were performed at 3-day intervals to determine the overall quality of fish.

Results and discussion: Combination of vacuum packaging and chitosan treated samples effectively retarded the TVB-N and TMA values and inhibited the growth of total viable count and psychrophilic count bacteria during refrigerated storage. Therefore, to extend the shelf life and delay the deterioration of fresh Spangled emperor fillets during refrigerated storage, chitosan coating prior to vacuum packaging is more appropriate. These coatings and films also showed antioxidant effects, since TBA and FFA values was lower than control samples at the end of the storage. There was no significant difference between coating and film in reducing TBA of fillets and bacterial contamination. Therefore, chitosan coating and film prior to vacuum packaging provides a type of active packaging that can be utilized as a safe preservative for fish under refrigerated storage.

Keywords: Spangled emperor, Vacuum packaging, Chitosan, Coating, Film, Shelf life.

1. Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology.

*(Corresponding author Email: khodanazary@yahoo.com)

اثر کاهش لاکتوز با کمک اولترافیلتراسیون بر میزان استالدهید و ویژگی‌های حسی دوغ

رضا مبصرفر¹ - سید علی مرتضوی^{2*}

تاریخ دریافت: 1396/12/15

تاریخ پذیرش: 1397/11/16

چکیده

دوغ نوعی نوشیدنی تخمیری لبنی است که اساس تهیه آن، مخلوط کردن ماست با آب و نمک است. یکی از مشکلات اساسی دوغ، تغییرات کیفی آن در طی دوره نگهداری است که عمدتاً به علت فعالیت میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه کاهش pH رخ می‌دهد. در این پژوهش، تأثیر کاهش لاکتوز بر زمان ماندگاری، ویژگی‌های طعمی و حسی دوغ تولیدی در سه بازه زمانی روز اول، بیست و سوم و چهل و ششم پس از زمان تولید دوغ در مقایسه با دوغ‌های شاهد بررسی گردید. میزان استالدهید نیز به وسیله کروماتوگرافی گازی اندازه‌گیری شد. در این مطالعه شیر در سه روز متوالی از فیلترهای Ultra filtration (UF) عبور داده شد و میزان لاکتوز آن تا حدود 2% کاهش یافت. سپس مرحله تخمیر و استاندارد کردن دوغ‌ها از نظر چربی و ماده خشک بدون چربی انجام شد. کلیه آزمون‌ها با سه تکرار و با استفاده از آزمون LSD در سطح اطمینان 95% مقایسه میانگین‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که در طول دوره نگهداری دوغ، میزان اسیدیته، pH و استالدهید دوغ تولیدی کمتر از دوغ شاهد شد؛ افزون بر این خواص حسی و طعمی آن نیز به میزان قابل توجهی بهبود یافت. هدف اصلی پژوهش افزایش زمان ماندگاری و بهبود خواص حسی و کیفیت دوغ بود؛ بر اساس یافته‌های این پژوهش به نظر می‌رسد که کاهش لاکتوز و به دنبال آن کاهش فعالیت باکتری‌های لاکتیکی می‌تواند نقش اساسی در افزایش زمان ماندگاری، ایفا کند.

واژه‌های کلیدی: دوغ، کاهش لاکتوز، اولترافیلتراسیون (UF)، کروماتوگرافی گازی (GC)، استالدهید

مقدمه

بنابراین نیاز هست که کنترل pH و بهبود کیفیت دوغ به روش‌های مختلفی بررسی و انجام شود.

با توجه به اینکه تیمارهای حرارتی شدید باعث تخریب برخی اجزای شیر مانند پروتئین و ویتامین‌ها می‌گردد. فیلترهای غشایی، نیاز به اعمال حرارت که منجر به افت نسبی ارزش تغذیه‌ای می‌شود را کاهش می‌دهد. از طرفی دیگر استفاده از فیلترهای غشایی علاوه بر افزایش ماده خشک بدون چربی (SNF) و درصد پروتئین، باعث تولید شیرهای کم‌لاکتوز می‌شود که محصولات کم‌لاکتوز علاوه بر بحث تغذیه‌ای آن برای برخی افراد، مزایای ویژه‌ای در بهبود کیفیت محصول دارند (Jahadi et al., 2007).

در گذشته از فیلترهای غشایی در تولید ماست‌های با درصد پروتئین بالاتر، ماست‌های کم‌لاکتوز و چکیده که به لبنه (Labneh) در خاورمیانه معروف است، استفاده می‌گردید (Biliaderis, Khan, & Mistry & Hassan, 1992; Blank, 1992). روش Ultrafiltration (UF) برای اولین بار در تولید صنعتی ماست در سال 1977 و 1979 توسط Jepsen استفاده شد. بر اساس پژوهش

دوغ یکی از پرمصرف‌ترین فرآورده‌های تخمیری سنتی ایرانیان است (Foroughiniaia et al., 2007) که با استفاده کنترل‌شده از فعالیت باکتری‌های لاکتیک اسید (Yerlikaya, 2014) و مخمرها (Özer & Kirmaci, 2010)، تحت شرایط ویژه‌ای از شیر تولید می‌شود (Zamani Mazdeh et al.; Meshkani & Mortazavi, 2017). تخمیر علاوه بر افزایش عمر ماندگاری محصول می‌تواند طعم ویژه و منحصر به فردی به محصول ببخشد (Hugenholtz, 2013). در سال 1390 میزان دوغ تولیدی در ایران 1/4 میلیون تن بود که 150 هزار تن از آن صادر گردید که نشان دهنده نیاز و کشش بازار است (Bagheripoor Fallah et al., 2016). دوغ ایرانی به کشورهایمانند افغانستان، آذربایجان، ترکیه، ارمنستان و کشورهای آسیای میانه صادر می‌شود (Fallah; Codex Alimentarius, 2011). یکی از مشکلات اصلی دوغ، کاهش pH است که منجر به تجمع پروتئین‌های کازئین می‌شود (F Azarikia, Abbasi, & Azizi, 2009; Fatemeh Azarikia & Abbasi, 2010).

*- نویسنده مسئول: (Email: mortezal937@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v15i2.70409

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران.

2- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

پس از اندازه‌گیری مشخصات آزمایشگاهی کامل از هر دو مخزن، آب به مخزن حاوی ریتنتیت اضافه شد تا میزان ماده خشک بدون چربی (Solid Non-Fat) آن تا حد قابل قبول کاهش یابد؛ زیرا در صورت وجود غلظت بالا، فعالیت باکتری‌ها با مشکل روبرو شده و زمان گرم‌خانه‌گذاری بسیار افزایش خواهد یافت. سپس برای استاندارد کردن چربی، خامه به دو مخزن اضافه شد، سپس دو مخزن پاستوریزه شد و در دمای 45°C استارتر اضافه شد.

پس از طی زمان یکسان گرم‌خانه‌گذاری تعیین شده برای دو مخزن و رسیدن اسیدیته ماست، به ماست‌های دو مخزن آب RO (سختی نزدیک به صفر) اضافه شد. در ادامه با بالا بردن دما تا حدود 60°C اقدام به هموژنیزاسیون و سپس پاستوریزاسیون دوغ موردنظر نموده و بسته‌بندی در بطری‌هایی از جنس پلی‌اتیلن در دمای 4°C انجام شد. هموژنیزاسیون دوغ تولیدی توسط یک هموژنایزر دومرحله‌ای در دمای 60°C و با فشار 150 بار و پاستوریزاسیون در دمای 72°C و به مدت 15 ثانیه انجام گرفت. مدت‌زمان نگهداری دوغ‌های تولیدی برای آزمایش نیز 46 روز در دمای 30°C بود.

روش اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی

میزان pH، اسیدیته، رطوبت، پروتئین، لاکتوز و چربی نمونه‌های شیر مورد استفاده برای تولید دوغ با استفاده از دستگاه آنالیز شیر اندازه‌گیری شد. pH و اسیدیته دوغ نیز با استفاده از روش استاندارد ملی ایران شماره 2453، «دوغ-ویژگی‌ها و روش آزمون» اندازه‌گیری شد (ISIRI, 2008).

روش اندازه‌گیری اسیدلدهید

نمونه‌های دوغ در آب یخ قرار داده شد تا از تبخیر جلوگیری شود، سپس 20 سی‌سی از نمونه دوغ توسط پیپت برداشته شد و بلافاصله در لوله‌های آزمایش با حجم 50 سی‌سی ریخته شد و درب لوله‌ها به وسیله سوباسیل مخصوص محکم بسته شد. زمان بستن درب لوله آزمایش زمان صفر در نظر گرفته شد. سپس دوغ‌ها در دمای 25°C به مدت 30 ثانیه به صورت گردابی (vortex) مخلوط گردیدند. تزریق هوای داخل لوله با استفاده از سرنگ 100 میکرولیتری همیلتون Gas tight، به دستگاه GC Agilent, N6890 انجام شد (Uebelacker & Lachenmeier, 2011).

ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی نمونه‌های دوغ شامل: رنگ، بافت، عطر و آروما، طعم و مزه، ترشی و پذیرش نهایی با استفاده از آزمون هدونیک 9 نقطه‌ای (امتیاز 1 نشان‌دهنده کمترین علاقه‌مندی و امتیاز 9 نشان‌دهنده بیشترین علاقه‌مندی) توسط 10 ارزیاب حسی آموزش دیده

Robinson و Tamime ماست خامه‌ای و نرم با طعم اسیدی حاصل از فرآیند UF نیازی به هموژنیزاسیون ندارد و کیفیت مشابهی از نظر ویسکوزیته و اسیدیته با ماست‌های تولیدی از شیر غنی‌شده با شیرخشک بدون چربی دارد (Renner & Abd-El-Salam, 1991; Tamime & Robinson, 1999). هدف از این پژوهش تولید دوغ با ویژگی‌های کیفی بهتر و زمان ماندگاری طولانی‌تر بود که بدین منظور تغییرات اسیدلدهید، pH، اسیدیته و ویژگی‌های ارگانولپتیک، در طی زمان ماندگاری بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

استارتر DANISCO (شماره 505) و اسیدلدهید (شماره 8/00004) با درجه خلوص بالای 99% به همراه محیط کشت‌ها و کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق نیز از شرکت Merck آلمان خریداری شدند. دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به طیف‌سنج جرمی (GC-MS Agilent N6890، آمریکا)، میک آنالایزر (Azmalaban، MCC، ایران)، رطوبت‌سنج (Sartorius, MA45، آلمان)، سانتی‌فوژ (Funke Gerber, Nova safety، آلمان)، انکوباتور (400 memmert، آلمان)، انکوباتور یخچال دار (2 WTW, TS-/6-606، اتریش)، آن (memmert, UM400، آلمان)، pH متر (Knick766، آلمان) ترازوی دیجیتال (AND, GF4000، ژاپن)، اتوکلاو (RT-2، ریحان طب، ایران)، فیلتر UF نوع Spiral Wound و جنس پلی سولفون (Cut_off: 10KDa).

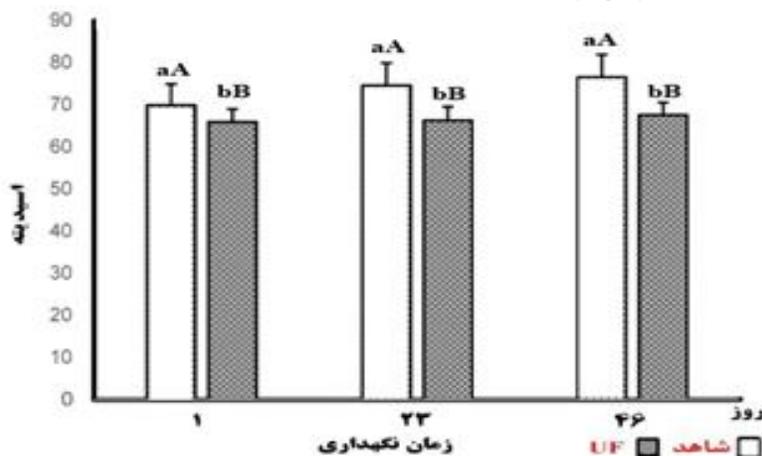
تولید دوغ با استفاده از اولترافیلتراسیون (UF)

فیلترهای UF با فشار 2 تا 10 بار، توانایی جداسازی و تغلیظ موادی با وزن مولکولی 100-1 کیلودالتون، بر روی سطح غشایی با قطر 10^{-1} - 10^{-2} میکرومتر را دارند؛ UF در هنگام عبور شیر باکتری‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها را جداسازی کرده اما قسمت بیشتر آب، مواد معدنی مانند نمک‌ها، پروتئین‌های محلول و لاکتوز را به صورت آب‌پنیر (Permeate) از خود عبور می‌دهد و پروتئین‌های غیرمحلول و چربی‌های شیر تغلیظ شده که پشت فیلتر می‌مانند، ریتنتیت (Retentate) نامیده می‌شود (Jahadi et al., 2007). در طی این تحقیق در طی سه روز، 3 شیر متفاوت از فیلترهای UF با دمای 50 درجه سانتی‌گراد عبور داده شد و با توجه به اینکه شیر دریافتی پس چرخ بود، حداکثر تغلیظ تا 24-23 Brix انجام شد، پس از آزمایش مشخص شد که میزان لاکتوز در شیر تغلیظ شده نسبت به شیر قبل از فیلتر (با توجه به ضریب تبدیل که براساس تغییرات ماده خشک محاسبه شده) تقریباً نصف شده است و به حدود 2 درصد رسیده است که این مقدار برای انجام عمل تخمیر کفایت می‌کند. سپس ریتنتیت تولیدی و شیر قبل از عبور از UF در دو مخزن جداگانه ذخیره شد و

روش های متابولیسی و از پیش‌سازهای متعددی غیر از لاکتوز مانند والین، پیروات، ترئونین و استیل فسفات باشد (Ahmadi, Mortazavian, & Mohammadi, 2013; علیزاده و همکاران، 1388). علیزاده و همکاران در سال 1388، تاثیر پروتئین‌های شیر تغلیظ شده به روش UF بر خواص شیمیایی و حسی ماست را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با کاربرد UF در تولید ماست علاوه بر تولید محصولی با ماده خشک بالا (به جای کاربرد شیر خشک)، محصولی مطلوب و غنی از پروتئین بدست می‌آید. (علیزاده و همکاران، 1388). احتیاطی و همکاران در سال 2013 توانستند با افزایش مقدار کنسانتره آب‌پنیر تا 32 درصد، باعث بهبود کیفیت دوغ شدند (Ehtiyati, Shahidi, Mohebi, & Yavarmanesh, 2013) اما در این پژوهش جهت افزایش ماندگاری و حفظ خواص حسی دوغ تولید، از فن‌آوری UF استفاده شد و هیچ‌گونه ماده افزودنی استفاده برای بهبود خواص دوغ استفاده نشد.

تأثیر استفاده از UF در میزان اسیدیته و pH دوغ

پس از 46 روز نگهداری دوغ شاهد و دوغ UF در یخچال و بررسی اسیدیته و pH دوغ‌ها، طی بررسی‌های آماری مشخص گردید که اختلاف معنی‌داری بین میانگین pH و اسیدیته دوغ UF (B) با دوغ شاهد (A) وجود دارد ($P < 0/05$)؛ بدین ترتیب که کاهش لاکتوز فعالیت باکتری‌های لاکتیکی را کاهش داده و تأثیر معنی‌داری بر روند تولید و افزایش اسیدیته و کاهش pH داشته است ولی در هر تیمار تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف وجود ندارد.



شکل 1- بررسی تغییرات اسیدیته دوغ‌های تولیدی با شیر UF و شاهد در طی زمان ماندگاری

حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در بین هر تیمار در زمان‌های مختلف است و حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری بین دو نوع دوغ در هر زمان (یک روز مشخص) است.

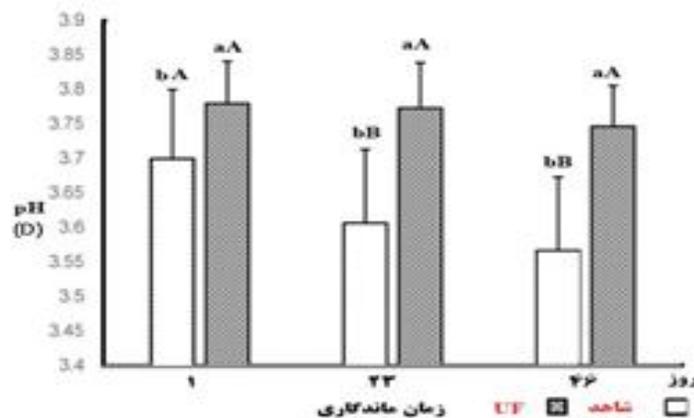
در 3 زمان، روز اول، بیست و سوم و چهل و ششم مورد ارزیابی قرار گرفت. به هر نمونه یک کد 3 رقمی داده شد و نمونه‌ها به صورت تصادفی در اختیار ارزیاب‌های حسی قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

دوغ‌های UF تولیدی با دوغ‌های شاهد در سه بازه زمانی روز 1، 23 و 46 پس از زمان تولید مقایسه شد. کلیه آزمون‌ها در 3 تکرار انجام و بررسی اختلاف موجود بین مقادیر میانگین‌ها، به وسیله آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح اطمینان 95% انجام شد. برای ارزیابی آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه 20 استفاده شد. همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده از آزمایش‌های رئولوژیکی با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2010، Sigmaplot 2000 و SPSS نسخه 20 جهت تعیین مدل ریاضی مناسب، مورد پردازش قرار گرفته و در این راستا از رگرسیون‌های خطی و غیرخطی استفاده شد.

نتایج و بحث

برای بهبود خصوصیات حسی و افزایش ماندگاری محصولات لبنی پژوهش‌های گوناگونی صورت گرفته است. در پژوهش حاضر در طی نگهداری ابتدا استالدهید (عامل موثر در عطر و طعم محصول)، کمی افزایش داشته سپس با نگهداری بیشتر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که می‌تواند به علت تجزیه شدن و فراریت و نقطه جوش پایین آن باشد که با پژوهش علیزاده و همکاران (1388) همخوانی دارد (علیزاده، احسانی و صفری، 1388). افزایش ابتدایی استالدهید نیز می‌تواند به علت تولید استالدهید و دیگر ترکیبات کربونیلی موثر بر طعم از سایر



شکل 1- بررسی تغییرات pH دوغ‌های تولیدی با شیر UF و شاهد در طی زمان ماندگاری

حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در بین هر تیمار در زمان‌های مختلف است و حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در بین تیمارها در هر زمان (یک روز مشخص) است.

شاهد اولترافیلتر نشده، ماده خشک و محتوای پروتئینی بالاتری دارند. (علیزاده و همکاران 1388). آلوارز و همکاران نیز اعلام داشتند که محصول حاصل از شیر تغلیظ شده با UF، محتوای پروتئینی بالاتری داشته ولی ویسکوزیته محصولاتی که لاکتوز و پروتئینشان به ترتیب کمتر از 2 و 6/5 درصد ویسکوزیته پایینی دارند (Alvarez et al., 1998). Brazuelo و همکاران نیز قصد داشتند با استفاده از RO و UF شیر را تغلیظ کنند تا کیفیت محصول را ارتقا بدهند اما نتایج نشان داد که RO تاثیر معنی‌داری نداشته ولی فیلتر UF با 10 KDa cut-off توانسته با نسبت‌های 3-1-2-1 حدود 35 درصد محتوای پروتئینی را افزایش دهد (Brazuelo et al., 1995).

باید توجه داشت ارزش پروتئینی این دوغ تقریباً معادل با شیر هست. با این مزیت که پروتئین دوغ به علت پیش هضمی که روی پروتئین شیر آن در ماست احتمالاً رخ داده، هضم راحت‌تری دارند. گواه این استدلال محتوای بالاتر اسیدهای آمینه آزاد مخصوصاً پرولین و گلایسین در ماست نسبت به شیر است که به علت محافظت شدن فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک و پپتیدازها در طی زمان ماندگاری ماست است؛ بدین ترتیب غلظت گروه‌های آمینی افزایش می‌یابد (Loones, 1989).

مظاهری اسدی و پوراحمد نیز کاهش pH و افزایش اسیدیته را در طی نگهداری ماست‌های تولیدی گزارش کردند (مظاهری اسدی و پوراحمد، 2012). همچنین این نتایج کاملاً با نتایج علیزاده و همکاران (1388)، هم-خوانی دارد. آن‌ها یک روند صعودی را در میزان اسیدیته در طی زمان نگهداری شاهد بودند که به علت تبدیل بخشی از لاکتوز به اسید لاکتیک می‌باشد (علیزاده و همکاران، 1388).

تأثیر استفاده از UF در میزان پروتئین دوغ

فیلترهای UF با جلوگیری از عبور پروتئین‌های شیر، باعث تغلیظ پروتئین‌های شیر می‌شوند که این امر در رینتیت نمود پیدا می‌کند، بدین ترتیب که فیلترهای UF لاکتوز، مواد معدنی و آب را از خود عبور داده که به صورت آب‌پنیر جدا می‌شوند اما از عبور چربی، پروتئین و نیز باکتری‌های اندکی که توانسته‌اند از MF عبور کنند جلوگیری می‌کند. تجزیه واریانس داده‌ها، اختلاف معنی‌دار میان دوغ تولیدی با شیر UF و دوغ شاهد ($P < 0/05$) را تأیید می‌کند، بدین ترتیب که میزان پروتئین در دوغ UF، بیش از دو برابر نسبت به دوغ شاهد افزایش یافته است. پژوهش علیزاده همکاران (1388)، نیز چنین نتیجه‌ای را کاملاً تأیید می‌کند، آن‌ها بیان داشتند که ماست‌های اولترافیلتر شده نسبت به نمونه

جدول 1- میزان درصد پروتئین نمونه‌های دوغ در روزهای اول، بیست و سوم و چهل و ششم پس از تولید

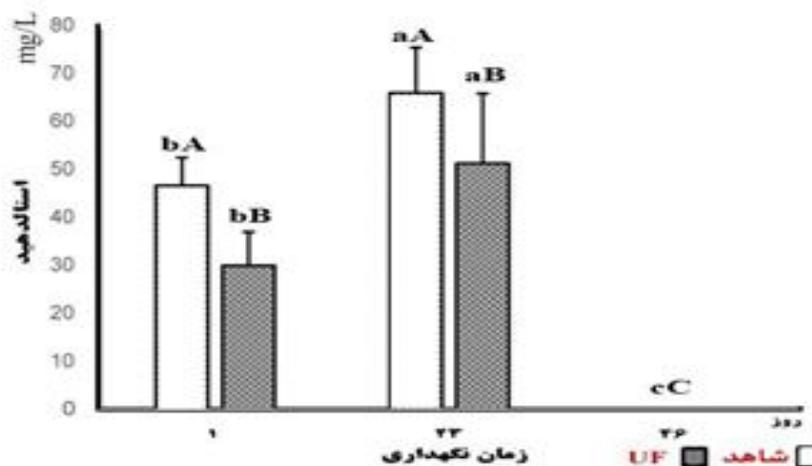
روز	46	23	1
شاهد	1/47 ^{aB}	1/56 ^{aB}	1/59 ^{aB}
UF	3/43 ^{aA}	3/47 ^{aA}	3/49 ^{aA}

حروف کوچک یکسان نشان‌دهنده تفاوت غیرمعنی‌دار در هر ردیف می‌باشند و حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در هر ستون می‌باشند.

غیرمنتظره‌ی داشت. نتایج پژوهش علیزاده و همکاران (1388)، نیز تقریباً مشابه نتایج پژوهش حاضر هست، آن‌ها اعلام کردند ماست‌های اولترافیلترشده غنی از پروتئین محتوای استالدهید بیشتری نسبت به شاهد دارد، زیرا با افزایش محتوای پروتئینی نمونه‌های ماست به روش UF، تولید اسید با توجه به خاصیت بافری این نمونه‌ها افزایش می‌یابد، همچنین آزمایشات نشان داد که استالدهید طی نگهداری در ماست کاهش می‌یابد (علیزاده و همکاران 1388). شکل 4 زمان بازداری استالدهید که توسط GC اندازه‌گیری شده است را نشان می‌دهد.

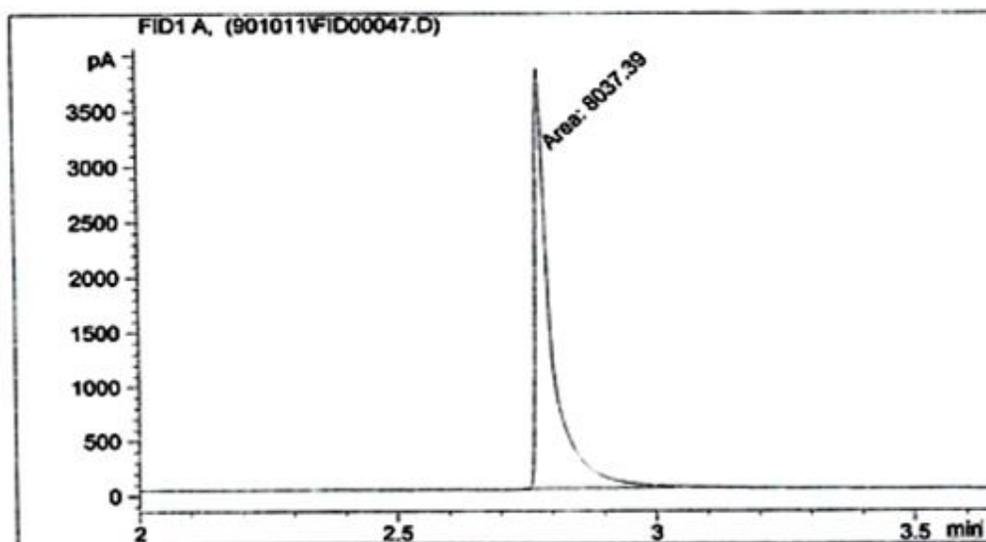
نتایج استفاده از UF در میزان استالدهید

نتایج تجزیه واریانس، وجود اختلاف معنی‌داری را بین میزان استالدهید دوغ UF و دوغ شاهد را تأیید کرد. ($P < 0/05$). این اختلاف معنی‌دار در بین هر سه زمان مورد بررسی در طی زمان ماندگاری دوغ نیز وجود داشت. ($P < 0/05$) حروف غیرمشابه به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح 95% است. همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود میزان استالدهید دوغ شاهد به علت لاکتوز بالاتر، بیشتر از دوغ UF است. در هر دو نوع دوغ نیز افزایش میزان استالدهید بین روز اول تا بیست و سوم مشاهده شد، اما در بازه زمانی روز بیست و سوم تا چهل و ششم میزان استالدهید برای هر دو نوع دوغ تولیدی کاهش قابل‌توجه و



شکل 2- تغییرات استالدهید دوغ‌های تولیدی با شیر شاهد و UF در طی زمان ماندگاری

حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در بین هر تیمار در زمان‌های مختلف و حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار در یک روز مشخص هست.



شکل 3- زمان بازداری استالدهید

عطر و طعم نشان داد که ارزیابان آموزش ندیده به نمونه شاهد در کل پایین‌ترین رتبه را در ارزیابی حسی داده‌اند (علیزاده و همکاران 1388). در مورد متغیر آروما با توجه به نتیجه به‌دست‌آمده تغییرات معنی‌دار نیست که این امر به علت افزایش و سپس کاهش میزان استالدهید کاملاً قابل توجیه است؛ زیرا در آنالیز آماری مجموع امتیازات داده‌شده به دوغ‌های شاهد و UF در نظر گرفته می‌شود و در آزمایش‌های GC بین دو بازه زمانی روز 23 و 46 با کاهش میزان استالدهید تا حد صفر روبرو هستیم. عدم اختلاف معنی‌دار با توجه به امتیازات داده‌شده از طرف ارزیاب‌های حسی موجه و منطقی است. در ضمن در طی زمان ماندگاری نیز در مواردی بین بازه زمانی روز 23 - 1 با روز 46 - 23 اختلاف کاملاً معنی‌دار وجود نداشت اما در تمامی متغیرها، حتی متغیر آروما بین بازه‌های زمانی روز اول و آخر (روز چهل و ششم) اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P < 0/05$).

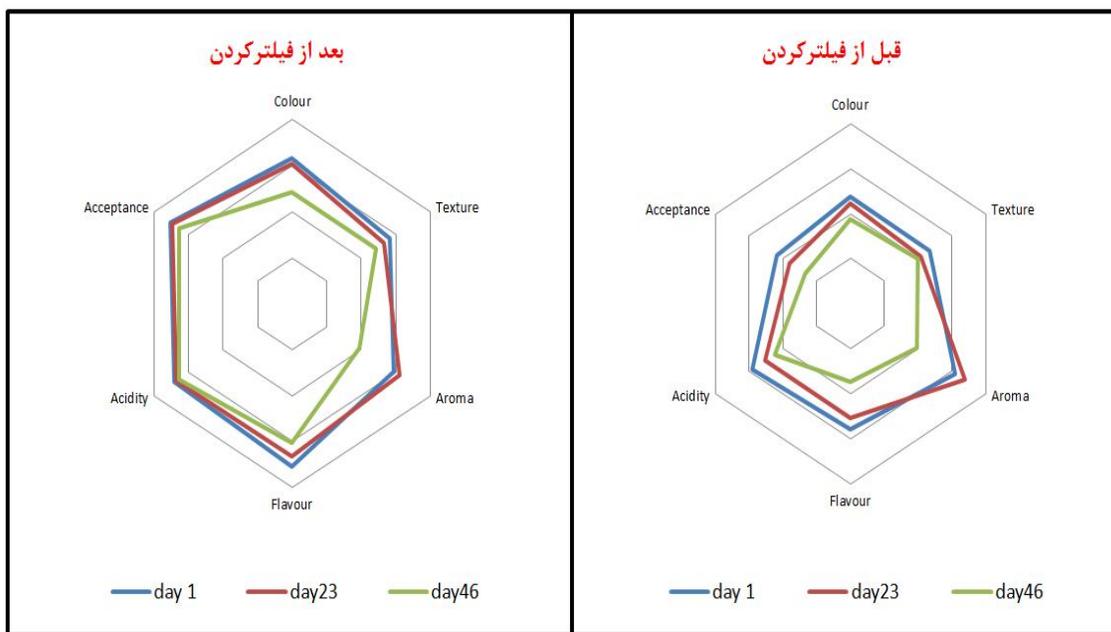
در مجموع با توجه به امتیازات داده‌شده از طرف ارزیاب‌های حسی در تمامی موارد مجموع امتیازات به متغیرهای دوغ UF نسبت به دوغ شاهد بیشتر است، ضمن اینکه در طی زمان ماندگاری نیز ارزیاب‌های حسی دوغ UF را نسبت به دوغ شاهد ترجیح دادند. شکل 5 نتایج حاصل از ارزیابی حسی به‌وسیله نمودار عنکبوتی را نشان می‌دهد.

توجیه علمی کاهش میزان لاکتوز و استالدهید

در طی اولترا فیلتراسیون شیر بخشی از لاکتوز وارد پرمیت می‌شود، در نتیجه از میزان آن کاسته می‌شود (علیزاده و همکاران 1388). همچنین لاکتوز با استفاده از فعالیت باکتری‌های لاکتیکی، تجزیه شده و تبدیل به گلوکز و گالاکتوز می‌شود و از طریق استیل کوآنزیم A پس از تولید استالدهید تبدیل به اتانول (اتیل الکل) می‌شود و بدین ترتیب از مقدار استالدهید کاسته می‌شود (Gharibzahedi & Wouters & Geurts, ;McSweeney, 2009; Chronakis, 2018; Wouters & Geurts, 2006). همچنین طی تخمیر بخشی از لاکتوز به اسید لاکتیک تبدیل می‌شود و محتوای استالدهید با توجه به فراریت و نقطه جوش بسیار پایین استالدهید در نگهداری بلند مدت، کاهش می‌یابد (علیزاده و همکاران 1388).

اثر UF روی ویژگی‌های حسی دوغ

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های دوغ در اکثر متغیرها به‌جز آروما نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین دوغ‌های تولیدی بود ($P < 0/05$). در پژوهش علیزاده و همکاران (1388)، نیز بین نمونه شاهد و نمونه‌های UF، اختلاف معنی‌داری وجود داشت و نتایج ارزیابی حسی



شکل 4- ارزیابی حسی دوغ‌های قبل و بعد از فیلتر

حاصل از آنالیز آماری مشخص گردید که کاهش لاکتوز نسبت به نمونه شاهد نه تنها در اکثر متغیرهای مورد بررسی دارای تغییرات معنی‌دار است بلکه در طی زمان ماندگاری نیز تغییرات معنی‌داری بود.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر کاهش لاکتوز با استفاده از UF بر زمان ماندگاری و ویژگی‌های طعمی دوغ بود. بر طبق نتایج

طی زمان ماندگاری است که با توجه به قیمت بالای آنزیم لاکتاز، استفاده از فیلترهای UF برای کاهش لاکتوز به‌غیر از مزایای ویژه خود بسیار به‌صرفه‌تر و اقتصادی‌تر هست. شایان‌ذکر است که دوغ تولیدی در این طرح پژوهشی (پایان‌نامه) تاکنون به کشورهای روسیه، عراق، قطر، افغانستان و ... صادر گردیده است.

تشکر و قدردانی

از کلیه همکاران شرکت شیر پاستوریزه پگاه کرمان که این‌جانب را در انجام این پروژه یاری نمودند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

تغییرات کند اسیدیته، pH و اسیدلاکتیک نسبت به دوغ شاهد نشان‌دهنده کاهش فعالیت باکتری‌های لاکتیکی و افزایش زمان ماندگاری و در نتیجه تثبیت کیفیت محصول تا مدت‌زمان طولانی‌تری هست. در ارزیابی حسی نیز دوغ حاصل از شیر فیلترشده (UF) نسبت به دوغ شاهد از نظر ویژگی‌های طعمی و همچنین پذیرش کلی ترجیح داده شد.

بنابراین با توجه به نتایج و بازار رقابتی موجود که تولید محصول با حداقل تغییرات کیفی در طی زمان ماندگاری را می‌پسندد؛ تولید دوغ با این روش به‌ویژه در بحث صادرات و یا ارسال محصول به نقاط دور دست داخل کشور کاملاً داری توجیه اقتصادی است زیرا این روش نه تنها در بهبود ویژگی‌های طعمی و تغذیه‌ای، نقش حائز اهمیتی از نظر بازاری پسندی و جذب مشتری دارد؛ بلکه دارای حداقل تغییرات کیفی در

منابع

- علیزاده، آیناز، احسانی، محمدرضا و صفری، محمد. (1388). تاثیر پروتئین های شیر تغلیظ شده به روش اولترافیلتراسیون بر خواص شیمیایی و حسی ماست. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، 6(3)، 109-115.
- مظاهری اسدی مهنار و پوراحمد، رضوان. (2012). بررسی میزان استالدهید در ماست های تولید شده بوسیله سویه‌های میکروبی بومی. علوم غذایی و تغذیه، 7(2)، 76-83.
- Ahmadi, E, Mortazavian, AM, & Mohammadi, R. (2013). The Effect of Heat Inactivating Process on Biochemical, Microbiological and Sensory Characteristics of Iranian Drink Based on Fermented Milk (Doogh). *J Food Process Technol*, 4(271), 2.
- Alvarez, F, Argüello, M, Cabero, M, Riera, FA, Alvarez, R, Iglesias, JR, & Granda, J. (1998). Fermentation of concentrated skim-milk. Effects of different protein/lactose ratios obtained by ultrafiltration-diafiltration. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(1), 10-16.
- Azarikia, F, Abbasi, S, & Azizi, MH. (2009). Investigation of the efficiency and mechanisms of some hydrocolloids on the stabilization of Doogh. *Iranian Journal of Nutrition Science and Food Technology*, 4(1), 11-22.
- Azarikia, Fatemeh, & Abbasi, Soleiman. (2010). On the stabilization mechanism of Doogh (Iranian yoghurt drink) by gum tragacanth. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 358-363.
- Bagheripoor Fallah, N., Mortazavian Farsani, S. A. M., Hosseini, H., Shahraz, F., & Bahadori Monfared, A. (2016). Identification of microorganisms in industrial Iranian Doogh. *journal of food science and technology*, 13(57), 185-202.
- Biliaderis, CG, Khan, MM, & Blank, G. (1992). Rheological and sensory properties of yogurt from skim milk and ultrafiltered retentates. *International Dairy Journal*, 2(5), 311-323.
- Brazuelo, Agustin, Suárez, Elena, Riera, Francisco A, Alvarez, Ricardo, Igesias, José R, & Granda, Juan. (1995). Protein-enriched yoghurt by ultrafiltration of skim-milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 69(3), 283-290.
- Codex Alimentarius, Commission. (2011). Joint FAO/WHO food standard programme, project document for a regional standard for Doogh: Tunisia.
- Ehtiyati, ahmad, Shahidi, fakhri, Mohebi, mohebbat, & Yavarmanesh, masoud. (2013). Evaluation of WPC and EPS Producing Starter Cultures Effect on some Physical Properties of Doogh. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(4), 295-303.
- Fallah, Aziz A., Rahnama, Mohammad, Jafari, Tina, & Saei-Dehkordi, S. Siavash. (2011). Seasonal variation of aflatoxin M1 contamination in industrial and traditional Iranian dairy products. *Food Control*, 22(10), 1653-1656.
- Foroughinaia, S., Abbasi, S., & Hamidi Esfahani, Z. (2007). Effect of Individual and Combined Addition of Salep, Tragacantin and Guar Gums on the Stabilisation of Iranian Doogh. *nsft.ir*, 2(2), 15-25 (in persian).
- Gharibzahedi, Seyed Mohammad Taghi, & Chronakis, Ioannis S. (2018). Crosslinking of milk proteins by microbial transglutaminase: Utilization in functional yogurt products. *Food Chemistry*, 245, 620-632.
- Hugenholtz, J. (2013). Traditional biotechnology for new foods and beverages. *Current opinion in biotechnology*, 24(2), 155-159.
- ISIRI. (2008). (Institute of Standards and Industrial Research of IRAN). No. 2543 *Doogh-Specifications and test method*. Karaj: 2nd rd.

- Jahadi, Mahshid, Ehsani, MohammadReza, NavabPoor, Sorayya, HashemiRavan, Mahnaz, SarallahZabihi, Sajjad, & Joodaki, Amin. (2007). Evaluation of milk constitute retentate with ultrafiltration. *Journal of Iran agriculture sciences*, 38(2), (in Persian).
- Loones, A. (1989). Transformation of milk components during yogurt fermentation. *Yogurt: nutritional and health properties*. McLean, VA: National Yogurt Association, 95-114.
- McSweeney, Paul LH. (2009). *Lactose, water, salts and minor constituents*: Springer.
- Meshkani, S.M, & Mortazavi, S.A. (2017). Optimization of Formulation of Fermented Dairy Beverage (Doogh) Containing Whey Powder and Commercial Stabilizer Using Response Surface Design. *journal of food science and technology*, 14(66), 47-39.
- Mistry, VV, & Hassan, HN. (1992). Manufacture of nonfat yogurt from a high milk protein powder. *Journal of Dairy Science*, 75(4), 947-957.
- Özer, Barbaros H, & Kirmaci, Huseyin Avni. (2010). Functional milks and dairy beverages. *International Journal of Dairy Technology*, 63(1), 1-15.
- Renner, Edmund, & Abd-El-Salam, MH. (1991). *Application of ultrafiltration in the dairy industry*: Elsevier Science Publishers Ltd.
- Tamime, Adman Y, & Robinson, Richard Kenneth. (1999). *Yoghurt: science and technology*: Woodhead Publishing.
- Uebelacker, Michael, & Lachenmeier, Dirk W. (2011). Quantitative determination of acetaldehyde in foods using automated digestion with simulated gastric fluid followed by headspace gas chromatography. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*.
- Wouters, Jan TM, & Geurts, TJ. (2006). *Dairy Science and Technology*. Food Science and Technology: CRC Press.
- Yerlikaya, Oktay. (2014). Starter cultures used in probiotic dairy product preparation and popular probiotic dairy drinks. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(2), 221-229.
- Zamani Mazdeh, F, Esmaeili Aftabdari, F, Moradi-Khatoonabadi, Z, Shaneshin, M, Torabi, P, Shams Ardekani, MR, & Hajimahmoodi, M. (2014). Sodium benzoate and potassium sorbate preservatives in Iranian doogh. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 7(2), 115-119.



The Effect of Lactose Reduction on the Acetaldehyde Amount and Organoleptic Properties of Doogh as a Fermentative Product Using Ultrafiltration

R. Mobasserfar¹, S. A. Mortazavi^{2*}

Received: 2018.03.06

Accepted: 2019.02.05

Introduction: Doogh is one of the most important and most widely consuming fermented traditional Iranian milk products, which is being prepared from the healthy milk by using the activity of certain lactic acid bacteria and molds under the especial conditions. *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* are used as starter culture for milk fermentation. The fermented dairy products have long storage life and constitute an important part of the milk's per capita consumption. For this reason, studying the different methods in order to improve the quality of these products is crucial. By considering the fact that the strong thermal treatments damage some components of milk such as protein and vitamins, using the membrane filtrations decrease the need to impose the intense thermal conditions which result into the relative loss of nutrients. On the other hand, using the membrane filters not only increase SNF (solid non-fat) and the percentage of protein but also lead into the production of less-lactose milk as well, the production of less-lactose products, in addition to their nutritional value for some people, have especial benefits for improving the quality. As follows, UF filters in 10-2-10-1 diameter separate the bacteria, fats and protein when milk is passing with a pressure about 1-10 bar but also they pass the minerals such as salts and water which are being removed as permeate and the concentrated milk is called "Retentate".

Materials and methods: Materials provided in this study were including: Starter culture (No: 505 form Danisco, USA), Lactic acid (1.00366) with a degree of purity level more than 95%, NaH₂PO₄*2H₂O (1.06345) plus the cultures' environment and the chemical substances from MERCK Company. HPLC system (Agilent, 1100 series, USA), Rheometer (Anton, MCR300, Austria), Milk analyzer bar (Azmalaban, MCC, Iran), pH meter (Knick, 766, Germany), Digital scale 0.001 (AND, GF4000, Japan), Psychrometer (Sartorius, MA45, Germany), Oven (memmert, UM400, Germany), Centrifuge (Funke Gerber, Nova safety, Germany), Kjeldahl (Gerhardt, KB, Germany), Refrigerated incubator (WTW, TS606-6/2-i, Austria), Incubator (memmert, BM400, Germany), Autoclave (RT-2, Reyhan Teb, Iran). In the present study the effect of a decrease in lactose percentage on the durability, flavor and sensory (organoleptic) properties of produced doogh on the 1st, 23rd and 46th day's after production time in comparison to control ones, was investigated. The changes of acetaldehyde levels were measured using Gas chromatography mass spectroscopy. In this study, milk was passed through UF filters in three consecutive days and its lactose level was decreased by about 2%. After that fermentation and standardization of doogh based on the amount of fat and solid-nonfat has been done. All tests were repeated 3 times and the comparison of averages has been done by using LSD test ($p=0.05$ %). Results were expressed as mean \pm SE. Values were the average of triplicate experiments. Significant differences between the results were calculated by analysis of variance (ANOVA) with the help of SPSS software version 20. Differences at $P<0.05$ were considered to be significant. Also the obtained data for the rheological experiments was processed using software such as Excel 2010 and SPSS software version 20 to determine an appropriate mathematical model. And in this case, the linear and nonlinear regressions were used.

Results & discussion: Results showed that by increasing the storage time, the acidity and pH changes and the acetaldehyde amount of produced doogh was less than those of the control samples. Additionally flavor and sensory properties improved considerably. Based on the findings of this research, it seems that the reduction of lactose and the decrease of lactic acid bacterial activity can play an important role in increasing the durability time, improving the sensory properties and enhancing the quality of doogh. It was determined that the decrease of lactose using ultrafiltration to the control sample not only indicates the significant changes in most considered variables but also there are these kinds of changes during the durability time. In addition, the significant and slow changes of pH to the control sample due to the decrease of lactic bacteria activities show the least qualitative and flavor changes over the durability time. And also it was specified that by increasing the activities of lactic bacteria, the amount of acetaldehyde will increase but by decreasing this activity, the level of acetaldehyde will decline. This issue has a direct relationship with the changes of lactose's

1. Former M.Sc student, Department of Food Sciences and Technology, Expert of Iran Dairy Industries Co., (Pegah), Kerman, Iran.

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

*(Corresponding author: email: morteza1937@yahoo.com)

amount. The post-filtration doogh due to its high amount of proteins shows high viscosity and concentration and for this reason, the attention of panelists in the sensory evaluation was directed toward choosing the post-filtration doogh instead of the pre-filtration one. Therefore, it can be concluded that the decrease of lactose using ultrafiltration has a main role in improving the quality of the product and also the tendency of the consumers.

Keywords: Doogh, Lactose, Ultrafiltration, Gas chromatography, Acetaldehyde

توسعه، آزمون و ارزیابی خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم به منظور تعیین مشخصه‌های عملکردی بهینه آن در خشک کردن موز

پرویز احمدی قشلاق¹ - سیدصادق سیدلو هریس^{2*} - حبیبه نعلبندی³

تاریخ دریافت: 1397/08/08

تاریخ پذیرش: 1398/02/18

چکیده

استفاده از امواج مادون قرمز برای خشک کردن محصولات کشاورزی و غذایی موجب کاهش مصرف انرژی و مدت زمان خشک کردن و افزایش کیفیت محصول نهایی می‌گردد. در این تحقیق مراحل تغییر خشک‌کن مادون قرمز منفرد موجود، به دستگاه ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم انجام و دستگاه مذکور ساخته شد. سپس برای ارزیابی سیستم در خشک کردن موز و بر اساس مبانی علمی موجود و نیز نیاز بازار مصرف، تاثیر مشخصه‌هایی مانند ضخامت ورقه‌های موز (4 و 6 میلی‌متر) و دمای سطح محصول (55، 65 و 75 درجه سانتی‌گراد) روی سینتیک خشک شدن و خواص کیفی محصول نهایی مطالعه شد. همچنین جهت سهولت استفاده از نتایج آزمون‌ها، مدل‌های ریاضی مختلف روی داده‌های آزمایش برآزش و مناسب‌ترین مدل توسعه داده شد. بر اساس نتایج حاصله، افزایش دما از 55 به 75 درجه سانتی‌گراد و نیز کاهش ضخامت نمونه‌ها تاثیر معنی‌داری روی تغییرات رنگ نمونه‌ها و زمان خشک شدن داشت ولی اثر فاکتورهای مذکور روی دانسیته نمونه‌ها غیرمعنی‌دار بود. به عبارت دیگر استفاده از دمای 55 درجه سانتی‌گراد موجب تولید بهترین محصول خشک از نظر کیفیت ظاهری شد. با توجه به خصوصیات کیفی مناسب استحصال و مقایسه آن با داده‌های مرتبط با روش خشک کردن هوای گرم مشاهده شد که روش ترکیبی از دیدگاه تغییرات کیفی و زمان خشک شدن از رجحیت برخوردار است. مقایسه مدل‌های ریاضی نشان داد که مدل پیچ انتخاب مناسبی برای پیش‌بینی سینتیک خشک شدن موز تحت شرایط مورد مطالعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل ریاضی، موز، خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم، خواص کیفی.

مقدمه

امواج مادون قرمز دارای ویژگی‌هایی است که استفاده از آن در خشک کردن محصولات کشاورزی، موجب کاهش مصرف انرژی، کاهش مدت زمان خشک شدن و افزایش کیفیت محصول نهایی می‌شود (Panand and Atungulu, 2011 Khampakool, et al., 2019). به همین دلیل استفاده از آن در سال‌های اخیر با پیشرفت در نوع منابع مادون قرمز رو به افزایش است. در خشک کردن به روش ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم انتقال گرما به‌طور توأم، از طریق جریان هوای گرم و تابش امواج مادون قرمز صورت می‌گیرد. بدین صورت که خشک‌کن‌های ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم محاسن هر دو روش منفرد را داشته و معمولاً موجب کاهش زمان خشک شدن و افزایش کیفیت محصول نهایی می‌گردد (امیر نجات، 1389).

با ابداع هر روش جدید می‌بایست تاثیر آن روی فرآیند خشک کردن محصولات مختلف مورد مطالعه قرار گیرد. زیرا هر محصول خصوصیات و ویژگی‌های منحصر به خود را داشته و تغییرات کیفی متفاوتی از خود نشان می‌دهد. بنابراین مطالعات جامعی باید در شرایط مختلف خشک

در کلیه واحدهای صنعتی مرتبط با صنایع غذایی، خشک کردن یکی از فرآیندهای مهم محسوب می‌شود، زیرا در اکثر مراحل تولید مواد غذایی، حداقل یک مرحله خشک کردن به چشم می‌خورد. خشک کردن به فرآیند کاهش رطوبت مواد تا رسیدن به یک محصول خشک اطلاق می‌شود که به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. خشک کردن مواد با استفاده از منابع گرمایی مهم ترین و متداول ترین روش خشک کردن می‌باشد (امیر نجات، 1389). در فرآیند خشک کردن هدف اصلی استفاده از حداقل انرژی حرارتی برای خارج ساختن حداکثر مقدار رطوبت با در نظر گرفتن کیفیت نهایی محصول است. بر این اساس روش‌های مختلفی برای خشک کردن ابداع و معرفی شدند که از آن جمله می‌توان به خشک کردن مواد با استفاده از امواج مادون قرمز اشاره کرد.

امواج مادون قرمز ساطع شده از هر منبع، حامل انرژی است که بدون نیاز به واسطه، از منبع به جسم منتقل می‌شود و سپس موجب ارتعاش مولکول‌های ماده غذایی و در نتیجه گرم شدن آنها می‌گردد.

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

DOI: 10.22067/iftstrj.v16i1.76330

1- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فنی حرفه‌ای شهید بهشتی ارومیه

2 و 3 - به ترتیب دانشیار و استادیار، مهندسی مکانیک‌اسیون کشاورزی، دانشگاه تبریز.

خشک کردن یک عامل محدودکننده در انتخاب روش خشک کردن است، با این وجود دست‌یابی به محصول با کیفیت بالا نیازمند یافتن بهترین ترکیب دمای منبع مادون قرمز، سرعت و دمای هوای گرم همرفتی در خشک کن های ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم است تا ضمن حفظ کیفیت محصول، فرآیند با بازده بالا انجام شود. بنابراین در این تحقیق هدف اصلی، طراحی و ساخت خشک کن ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم بود به طوری که برای ارزیابی عملکرد خشک کن ساخته شده، فرآیند خشک کردن موز مورد مطالعه قرار گرفت تا تاثیر شرایط خشک کردن بر روی زمان خشک شدن و خواص کیفی محصول نهایی مانند رنگ و دانسیته محصول مشخص گردد. هم چنین هدف بعدی تحقیق، مدل سازی سینتیک خشک شدن موز با استفاده از خشک کن ترکیبی بود که این امر برای ایجاد تسهیل در امر کنترل و کاربرد خشک کن بود.

مواد و روش‌ها

خشک کن ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم

برای انجام آزمایش‌ها، خشک کنی به صورت ترکیب مادون قرمز- هوای گرم ساخته شد (شکل 1). بدنه خشک کن از عایق مناسب به ضخامت 1/5 سانتی متر و به ابعاد 55×60×76 (طول، عرض و ارتفاع) سانتی متر ساخته شد و دیواره‌های داخلی دارای پوششی از ورق آلومینیومی شفاف بود که دارای بیشترین ضریب انعکاس در طول موج‌های بیش از 1/5 میکرومتر می‌باشد (شکل 1). برای تامین جریان هوای گرم در داخل دستگاه خشک کن، یک کانال به ابعاد 50×20×20 سانتی متر از آهن گالوانیزه ساخته شده و به بدنه اصلی خشک کن نصب گردید. در قسمت ورودی این کانال یک دمند به توان 45 وات و 0/2 آمپر و در قسمت داخلی آن یک هیتر جهت گرم کردن هوای ورودی نصب گردید تا دما و سرعت هوای ورودی به خشک کن قابل تنظیم باشد. در دیواره کناری خشک کن دریچه‌ای برای خروج هوا تعبیه شد تا با خروج هوای داخل خشک کن، از افزایش رطوبت نسبی در محیط اطراف محصول جلوگیری شود. منبع امواج مادون قرمز رادیاتورهای لوله کوارتز با المنت داخلی تنگستن بود. توان مصرفی هر یک از این رادیاتورها 500 وات و طول و قطر آن‌ها به ترتیب 250 و 12 میلی متر بودند. این رادیاتورها روی شاسی مخصوص خود در بالا و پایین سینی محصول و در داخل خشک کن نصب شدند تا امواج مادون قرمز از بالا و پایین روی محصول تابیده شود. ارتفاع عمودی رادیاتورها از محصول و نیز فاصله افقی رادیاتورها از یکدیگر قابل تنظیم بود. فاصله عمودی رادیاتورها از سطح محصول 30 سانتی متر و فاصله افقی رادیاتورها به اندازه 5 سانتی متر مورد استفاده قرار گرفت زیرا در این فواصل، تابش امواج مادون قرمز در خشک کن ترکیبی مذکور و بر روی سینی حاوی محصول یکنواخت بود (بدایقی، 1392). برای اندازه‌گیری دمای رادیاتورهای مادون قرمز از یک ترموکوپل نوع K با اتصال موقت

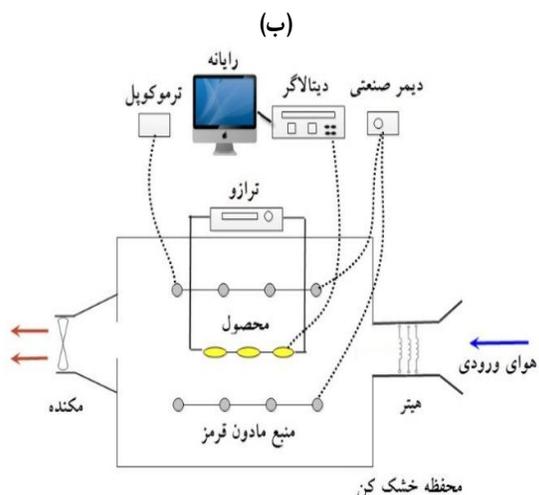
کردن روی محصول انجام گیرد و تاثیر مشخصه‌های عملکردی دستگاه روی زمان و آهنگ خشک شدن، خصوصیات کیفی مختلف محصول مانند دانسیته، رنگ و خصوصیات جذب مجدد محصول مورد بررسی قرار گیرد. به ویژه اینکه رنگ محصول خشک شده، مهمترین شاخص کیفی از دیدگاه مصرف کننده بوده و تاثیر مستقیمی روی بازاریابی و مشتری پسندی محصول مورد نظر دارد. در این میان مطالعه سینتیک خشک کردن محصول و نیز مدل سازی آن از دیدگاه کنترل و کاربرد خشک کن نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا زمان خشک کردن ارتباط مستقیمی با مشخصه های عملکردی سیستم دارد. بنابراین با مدل سازی ریاضی فرآیند خشک کردن می‌توان زمان خاتمه عملیات را تخمین زده و ضمن جلوگیری از مصرف زیاد انرژی، از افت کیفی محصول به دلیل خشک شدن طولانی مدت و افزایش دمای سطح ماده جلوگیری نمود. در نهایت مدل سازی سینتیک به اتوماسیون سیستم خشک کن کمک کرده و لازم و ضروری است.

به طور کلی از سه نوع مدل جهت توصیف خشک کردن محصولات کشاورزی استفاده می‌شود که عبارت از مدل‌های تئوری، نیمه تئوری و تجربی می‌باشند. مدل‌های تئوری خصوصیات خشک شدن و کاربردپذیری آن را در شرایط مختلف توصیف می‌کند اما برخی فرضیات مسئله از قبیل شکل هندسی محصول، ضریب نفوذ رطوبت و ضریب هدایت حرارتی منجر به بروز برخی خطاها در پیش بینی فرآیند خشک شدن می‌شود (Doymaz, 2007). مدل تجربی از اصول نظری خشک کردن صرف نظر کرده و یک تجزیه و تحلیل رگرسیونی بین میانگین محتوی رطوبت و زمان خشک شدن محصول ارائه می‌کند. روش نیمه تئوری حد واسطی از روش‌های تجربی و تئوری است (Yaldiz et al., 2001). مدل‌های نیمه تئوری بر اساس قانون دوم فیک استوار هستند و مدل‌ها بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش‌های تجربی، گسترش می‌یابند (Doymaz, 2007). برای انتخاب یک مدل ریاضی مناسب که بتوان بر اساس آن سینتیک خشک شدن محصول هدف را توصیف کرد باید آزمایش‌های مختلفی در سطوح مختلف تیمارهای موثر بر فرآیند خشک کردن انجام گیرد.

در این خصوص محققین مختلفی به مدل سازی فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های مختلف پرداخته و مدل‌های ریاضی مختلفی نیز برای توصیف فرآیند ارائه کرده‌اند (موسوی بایگی و همکاران، 1395؛ حسینی قابوس و همکاران، 1395؛ Hakan: Sharma, et al., 2005; Hebbar et al., 2004; and Can., 2006).

در تحقیق حاضر از میوه موز برای ارزیابی خشک کن ترکیبی توسعه داده شده استفاده شده است. موز نیز همانند همه محصولات کشاورزی از عمر انبارمانی کوتاهی برخوردار است که خشک کردن این محصول می‌تواند از ضایعات آن جلوگیری نموده و در نهایت منجر به تولید محصولی با ارزش افزوده بالا گردد. با اینکه تغییر رنگ موز حین فرآیند

محصول توسط دیتالاگر مجهز به ترموکوپل‌های نوع k صورت پذیرفت. همچنین سینی حاوی محصول توسط چهار عدد میله فلزی به ترازوی دقیق نوع A&D مدل EK-3000i با دقت 0/01 گرم متصل شد (شکل 1) و امکان توزین و محاسبه کاهش جرم به صورت تابعی از زمان خشک شدن فراهم شد.



و دستی آنها روی بدنه رادیاتورها و در فواصل زمانی مختلف استفاده شد و با استفاده از یک دستگاه دیمبر صنعتی، ولتاژ ورودی به رادیاتورها جهت حصول دمای مورد نظر کنترل شد. همچنین تغییر دمای رادیاتورهای مادون قرمز توسط دیمبر مربوطه صورت گرفت تا دمای حداکثر مذکور روی محصول قابل حصول باشد. کنترل دمای سطح

(الف)



شکل 1- الف: خشک کن ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم شامل 1- مجموعه دمنده و هیتر 2- درب خشک کن 3- بدنه خشک کن 4- دریچه خروجی هوا 5- ترازوی دیجیتال 6- دیتالاگر 7- رایانه 8- دیمبر؛ ب: شکل شماتیک خشک کن

50، 65 و 75 درجه سانتی گراد روی سینی محصول حاصل شود. بدیهی است دمای سطح محصول به دلیل گرمای نهان تبخیر در طول فرآیند، از مقادیر اولیه تا حداکثر مقدار آن یعنی 55، 65 و 75 درجه سانتی گراد افزایش می‌یافت. دمای سطح محصول به وسیله چند ترموکوپل که روی سطح محصول قرار می‌گرفتند اندازه‌گیری شد که نمونه‌ای از نمودارهای تغییرات دمای سطح محصول تابعی از زمان خشک شدن در قسمت نتایج آورده شده است. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شدند که فاکتور اول عبارت از دمای سطح محصول در سه سطح (50، 65 و 75 درجه سانتی گراد) و فاکتور دوم عبارت از ضخامت ورقه‌های موز در دو سطح (4 و 6 میلی‌متری) بود. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند. پس از اعمال تنظیمات مورد نظر روی خشک کن در هر آزمایش، 100 گرم نمونه آماده شده به صورت لایه نازک روی دو سینی توری در داخل خشک کن قرار داده شدند. یکی از سینی‌ها به ترازو دیجیتالی متصل بود که این ترازو در فواصل زمانی 5 دقیقه، از طریق یک اتصال RS232 به یک واحد کامپیوتر، اقدام به داده برداری از جرم نمونه‌های در حال خشک شدن می‌کرد. سینی دوم در امتداد سینی اول قرار داشت ولی به ترازو متصل نبود. از نمونه‌های روی سینی دوم در رطوبت‌های مختلف

آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌های موز روزانه از بازار محلی خریداری و تا زمان شروع آزمایش‌ها در دمای 13 درجه سانتی گراد نگهداری شدند. نمونه‌ها پس از برش به صورت ورقه‌های نازک به ضخامت‌های 4 و 6 میلی‌متری، در آب گرم با دمای 88 درجه سانتی گراد به مدت 3 دقیقه بلانچ و سپس به مدت یک دقیقه در محلول 0/1 درصد اسید سیتریک غوطه‌ور شدند و در نهایت با استفاده از کاغذ صافی رطوبت سطحی نمونه‌ها گرفته شد (زیرجانی و توکلی‌پور، 1389). این پیش تیمار برای کاهش تغییرات رنگ محصول حین خشک شدن انجام شد. محتوی رطوبت اولیه نمونه‌های موز بر اساس استاندارد AOAC در آون با دمای 105 ± 2 درجه سانتی گراد به مدت 24 ساعت اندازه‌گیری شد (AOAC, 1990).

آزمون خشک شدن موز

برای انجام آزمایش‌های خشک کردن، ابتدا دمای هوای گرم مورد استفاده با استفاده از دیمبر مربوطه در حدود 55 درجه سانتی گراد با دقت ± 1 درجه سانتی گراد تنظیم و سرعت جریان هوای گرم با استفاده از سرعت سنج پره‌ای در حدود 0/7 متر بر ثانیه تنظیم شد. با تغییر ولتاژ ورودی به رادیاتورها، دمای رادیاتورها به نحوی تغییر داده شد تا دماهای

شامل 2، 1، 0/5، 0/25، 0/12 گرم آب به ازای هر گرم ماده خشک، برای ارزیابی شاخص‌های کیفی شامل تغییرات حجم، دانسیته ظاهری، چروکیدگی و مشخصه‌های رنگ استفاده شد.

سینتیک خشک شدن ورقه‌های موز و مدل سازی آن

پس از انجام آزمایش‌های مرتبط با سینتیک خشک شدن لایه نازک موز، مدل‌های ریاضی فرایند خشک شدن آنها در خشک‌کن ترکیبی توسعه داده شد. برای این منظور ابتدا منحنی‌های خشک شدن ورقه‌های موز به صورت تغییرات نسبت رطوبت در برابر زمان ترسیم شد. نسبت رطوبت، مقدار رطوبت نمونه‌ها را در هر لحظه نسبت به رطوبت اولیه بیان می‌کند که در هر لحظه از معادله 1 محاسبه گردید (Cakmak

and Yildiz, 2011). رطوبت اولیه موز 3/48 گرم آب به ازای هر گرم ماده خشک به دست آمد. برای انطباق داده‌های آزمایشی با مدل‌های مختلف مورد استفاده برای بیان سینتیک خشک شدن محصولات کشاورزی، از مدل‌های موجود در جدول 1 استفاده شد (Doymaz, 2007).

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

در این رابطه MR نسبت رطوبت (بدون واحد)، M_t رطوبت محصول در هر زمان مورد نظر و M_0 رطوبت اولیه محصول می‌باشد. MR: نسبت رطوبت، t : زمان خشک شدن، a, b, c, k, K_0, K_1 و n اعداد یا ثابت‌های مدل‌ها هستند.

جدول 1- مدل‌های ریاضی فرایند خشک شدن لایه نازک میوه‌ها

شماره مدل	نام مدل	معادله مدل
1	نیوتون	$MR = \exp(-k \cdot t)$
2	پیچ	$MR = \exp(-k \cdot t^n)$
3	پیچ اصلاح شده	$MR = \exp(-k \cdot t)^n$
4	هندرسون و پابلیس	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
5	لگاریتمی	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$
6	دوجمله‌ای	$MR = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$
7	دو جمله‌ای نمائی	$MR = a * \exp(-k \cdot t) + \exp(-n \cdot t)$
8	وانگ سینگ	$MR = 1 + at + bt^2$
9	میدلی و همکاران	$MR = a * \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

مدل‌های مذکور در محیط نرم افزار متلب بر روی داده‌های تجربی حاصل از آزمایش‌ها اعمال و ضرایب مدل‌ها استخراج شدند. از شاخص‌های آماری مناسب شامل ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان ملاک‌های ارزیابی میزان انطباق مدل استفاده شد (Doymaz and Pala, 2002). مدلی که بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و کمترین جملات مدل را داشت به عنوان بهترین مدل انتخاب و سپس مدل‌های به دست آمده در شرایط مختلف آزمایش شامل دماها و ضخامت‌های مختلف با یکدیگر تلفیق شده و ضرایب مدل چندگانه به صورت تابعی از متغیرهای مستقل مذکور محاسبه شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ

رنگ میوه‌های خشک شده یکی از ملاک‌های مهم در ارزیابی خشک‌کن، انتخاب مناسب‌ترین نوع آن، تعیین مشخصه‌های عملکردی آن و نیز کیفیت محصول نهایی می‌باشد. بنابراین شاخص‌های رنگ میوه‌های خام و نیز رنگ آنها در حین خشک شدن ارزیابی شد. برای این منظور در سطوح رطوبتی مختلف شامل 2، 1، 0/5، 0/25، 0/12 گرم آب به ازای هر گرم ماده خشک، چهار ورقه موز به صورت تصادفی از خشک‌کن خارج و با استفاده از دستگاه هانتربل از آنها عکس برداری شد. در ادامه هر یک از عکس‌ها در محیط نرم‌افزار فتوشاپ فراخوانی شده و شاخص‌های رنگ از قبیل L^* ، a و b که به ترتیب بیان‌گر مقدار شفافیت، قرمزی و سبزی و نهایتاً زردی و آبی بودن نمونه‌ها می‌باشند، قرائت و تفاوت رنگ کل نمونه‌های خشک شده با نمونه‌های تازه به

مدل‌های مذکور در محیط نرم افزار متلب بر روی داده‌های تجربی حاصل از آزمایش‌ها اعمال و ضرایب مدل‌ها استخراج شدند. از شاخص‌های آماری مناسب شامل ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان ملاک‌های ارزیابی میزان انطباق مدل استفاده شد (Doymaz and Pala, 2002). مدلی که بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و کمترین جملات مدل را داشت به عنوان بهترین مدل انتخاب و سپس مدل‌های به دست آمده در شرایط مختلف آزمایش شامل دماها و ضخامت‌های مختلف با یکدیگر تلفیق شده و ضرایب مدل چندگانه به صورت تابعی از متغیرهای مستقل مذکور محاسبه شدند.

تغییرات دانسیته ظاهری

علاوه بر مدل‌سازی فرایند خشک شدن ورقه‌های نازک موز، مطالعه تغییرات کیفی محصول خشک شده هم از اهمیت بالایی برخوردار بود. به طوری که برای محاسبه دانسیته ظاهری، حجم نمونه‌های موز طی فرایند شدن در رطوبت‌های مختلف شامل 2، 1، 0/5، 0/25، 0/12 گرم آب به ازای هر گرم ماده خشک اندازه‌گیری شد.

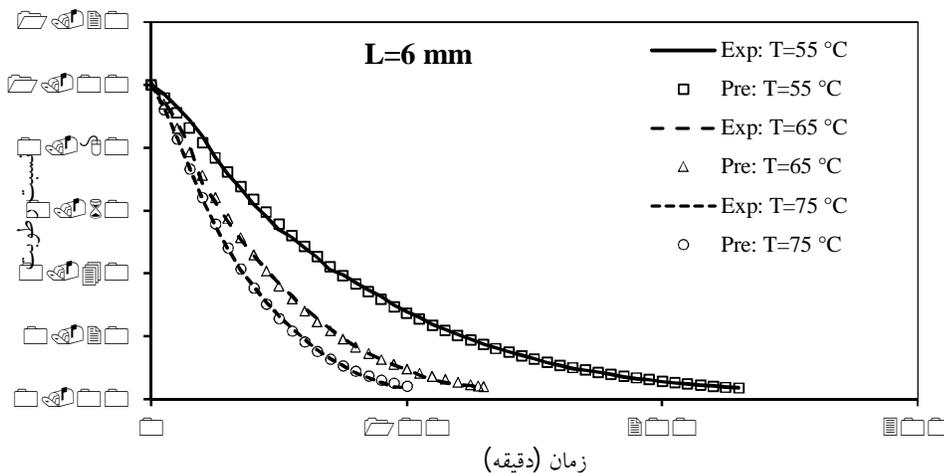
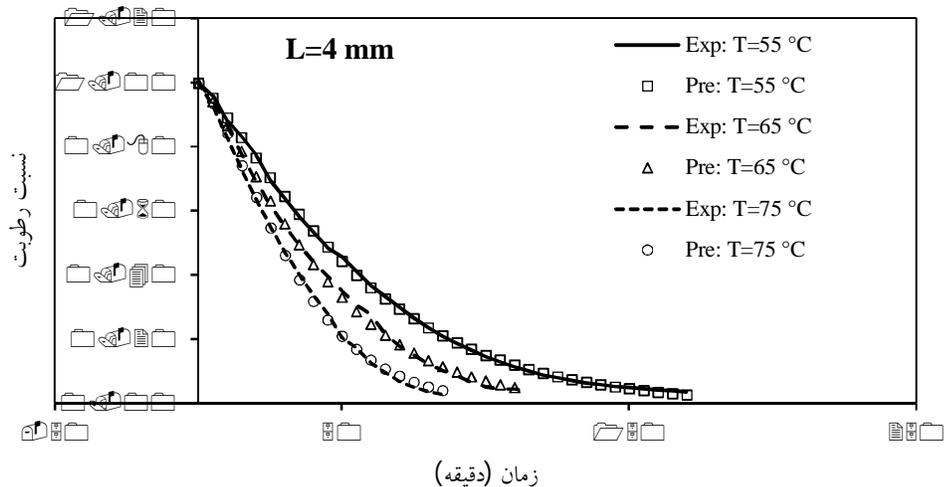
نتایج و بحث

سینتیک خشک شدن ورقه های موز

فرآیند خشک کردن ورقه های موز در دما و ضخامت های مختلف با استفاده از خشک کن ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم انجام شد و سینتیک خشک شدن آنها به صورت تغییرات نسبت رطوبت در مقابل زمان رسم گردید (شکل 2).

عنوان معیاری برای بیان مقدار تغییرات رنگ کلی (ΔE) در طی خشک کردن، توسط رابطه (2) محاسبه گردید. در این معادلات زیر نویس های 0 و 1 به ترتیب بیانگر مشخصه های رنگ موز تازه و خشک شده می باشند (Yildiz et al., 2001).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_1^*)^2 + (a_0^* - a_1^*)^2 + (b_0^* - b_1^*)^2} \quad (2)$$



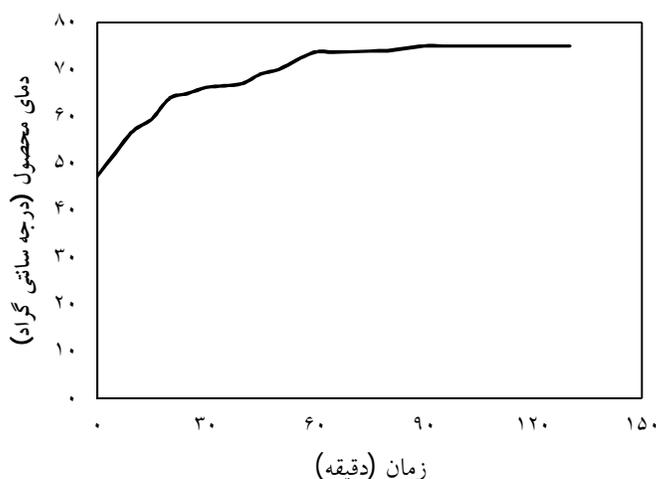
شکل 2- منحنی خشک شدن لایه نازک موز در دماهای مختلف سطح محصول و ضخامت های مختلف برای داده های تجربی و پیش بینی شده توسط مدل پیچ

خشک شدن میوه ها مربوط به دمای سطح محصول 75 درجه سانتی گراد و ضخامت 4 میلی متر می باشد و منحنی این تیمار از شیب تندتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار است. همچنین نتایج نشان می دهد زمان خشک شدن میوه ها با افزایش دمای سطح میوه ها کاهش می یابد. به طوری که با افزایش دمای سطح محصول از 55 درجه سانتی گراد به

در این نمودارها علامت T دمای سطح محصول و L_1 و L_2 به ترتیب ضخامت 4 و 6 میلی متر ورقه های موز را نشان می دهد. همان طوری که منحنی ها نشان می دهند نسبت رطوبت نمونه ها (خطوط پیوسته و منقطع در شکل 2) طی فرآیند خشک کردن به صورت یک تابع نمایی با تغییرات زمان خشک شدن کاهش می یابد. کمترین زمان

گزارش کردند که بسیار طولانی‌تر از زمان خشک‌شدن ورقه‌های موز به روش ترکیبی مادون قرمز- هوای به‌دست آمده در تحقیق حاضر می‌باشد که این امر موید ارجحیت روش خشک‌کردن ترکیبی می‌باشد. Pekke و همکاران (2013) نیز با مقایسه خشک‌کردن ورقه‌های موز به دو روش هوای گرم و مادون قرمز نشان دادند که خشک‌کردن نمونه‌ها به روش مادون قرمز سریعتر از هوای گرم انجام می‌شود زیرا در این روش نمونه‌ها سریعتر گرم شده و دمای آنها در زمان کمتری به دمای مورد نظر می‌رسد.

شکل 3 تغییرات دمای سطح محصول را در طول خشک‌کردن محصول با دمای 75 درجه سانتی‌گراد بصورت تابعی از زمان خشک شدن نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود دمای سطح محصول به دلیل تاثیر گرمای نهان تبخیر به‌صورت تدریجی افزایش یافته و پس از 80 دقیقه به دمای 75 درجه سانتی‌گراد رسیده است.



شکل 3- تغییرات دمای سطح محصول تابعی از زمان در طول خشک‌کردن با دمای 75 درجه سانتی‌گراد

کند.

مدل منفرد توسعه داده شده از ترکیب مدل‌های جدول 3 در شرایط مختلف آزمایش شامل دماها و ضخامت‌های متفاوت نمونه موز حاصل شده و توسط رابطه 4 نشان داده شده است که در آن L ضخامت ورقه‌های موز بر حسب متر و T دمای سطح محصول بر حسب کلوین می‌باشد. این مدل می‌تواند در ضخامت‌های مختلف نمونه در محدوده 4 تا 6 میلی‌متر و در دماهای مورد استفاده منابع مادون قرمز (در محدوده 55 تا 75 درجه سانتی‌گراد) نسبت به پیش‌بینی میزان رطوبت محصول در حین فرآیند خشک‌کردن ترکیبی مورد استفاده قرار گیرد.

$$MR = \exp[-0.02008 + 7.07 \times 10^{-5} \times T + 0.869 \times L]^{(0.850089 + 0.00185 \times T - 47.3333 \times L)} \quad (4)$$

75 درجه سانتی‌گراد، زمان مورد نیاز برای خشک‌شدن نمونه‌های مدور موز در ضخامت‌های 4 و 6 میلی‌متر به ترتیب 88/4 و 128/4 دقیقه کاهش یافت. همچنین در یک دمای ثابت، زمان خشک‌شدن نمونه‌ها با افزایش ضخامت آنها، افزایش یافت. به‌طور میانگین با افزایش ضخامت نمونه‌ها از 4 به 6 میلی‌متر، زمان مورد نیاز برای خشک‌شدن نمونه‌ها در دماهای 55، 65 و 75 درجه سانتی‌گراد به ترتیب 60، 16/7 و 20 دقیقه افزایش یافت.

Swasdisevi و همکاران (2009) طی خشک‌کردن ورقه‌های موز به روش ترکیبی FTIR و خلایبی تاثیر ضخامت ورقه‌های موز از 2 به 4 میلی‌متر در دمای 50 درجه سانتی‌گراد بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش ضخامت تاثیر معنی‌داری روی زمان خشک‌شدن دارد. Thuwapanichayanan و همکاران (2011) زمان خشک‌شدن ورقه‌های موز با ضخامت 3 میلی‌متر و با هوای گرم با دمای 70، 80، 90 و 100 درجه سانتی‌گراد را به ترتیب 400، 140، 100 و 75 دقیقه

مدل‌سازی سینتیک خشک‌شدن

برای مدل‌سازی سینتیک خشک‌شدن موز، مدل‌های ارایه شده در جدول 1 روی داده‌های تجربی برازش شدند و شاخص‌های آماری به‌دست آمده در شرایط مختلف خشک‌کردن در جدول 2 ارایه شد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود بالاترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RMSE در مدل پیچ به‌دست آمد. بنابراین این مدل به‌عنوان بهترین مدل برای توصیف فرآیند خشک‌کردن موز در خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز - هوای گرم انتخاب شد که ضرایب آن در جدول 3 ارایه شده است. در شکل 2 مقادیر داده‌های تجربی و پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل منفرد (مدل رگرسیونی چندگانه) نشان داده شده است. هم‌بستگی خوبی بین داده‌های تجربی و پیش‌بینی شده وجود دارد که مدل پیچ توانسته است در پیش‌بینی رطوبت محصول تابعی از زمان فرآیند به‌خوبی عمل

جدول 2- میانگین شاخص‌های آماری حاصل از برازش منحنی‌های خشک کردن ورقه‌های موز در تیمارهای مختلف

مدل	RMSE	R ²
نیوتون	0/036346	0/997357
بیج	0/009163	0/999523
بیج اصلاح شده	0/036346	0/997357
هندرسون و پابلیس	0/096392	0/995118
لگاریتمی	0/013999	0/998904
دوجمله‌ای	0/013382	0/998696
دو جمله‌ای نمائی	0/028026	0/995904
وانگ اسپینگ	0/013842	0/998908
میدلی	0/013121	0/998568

جدول 3- مقادیر ثابت و ضرایب مدل بیج در دما و ضخامت‌های مختلف

دما (°C)	ضخامت (mm)	K	n	R ²
55	4	0/006972	1/217	0/9995
65	6	0/006598	1/147	0/9992
75	4	0/007735	1/269	0/9982
55	6	0/009244	1/203	0/9999
65	4	0/007231	1/373	0/9984
75	6	0/01131	1/225	0/9997

بررسی دانسیته ظاهری نمونه‌های موز خشک شده

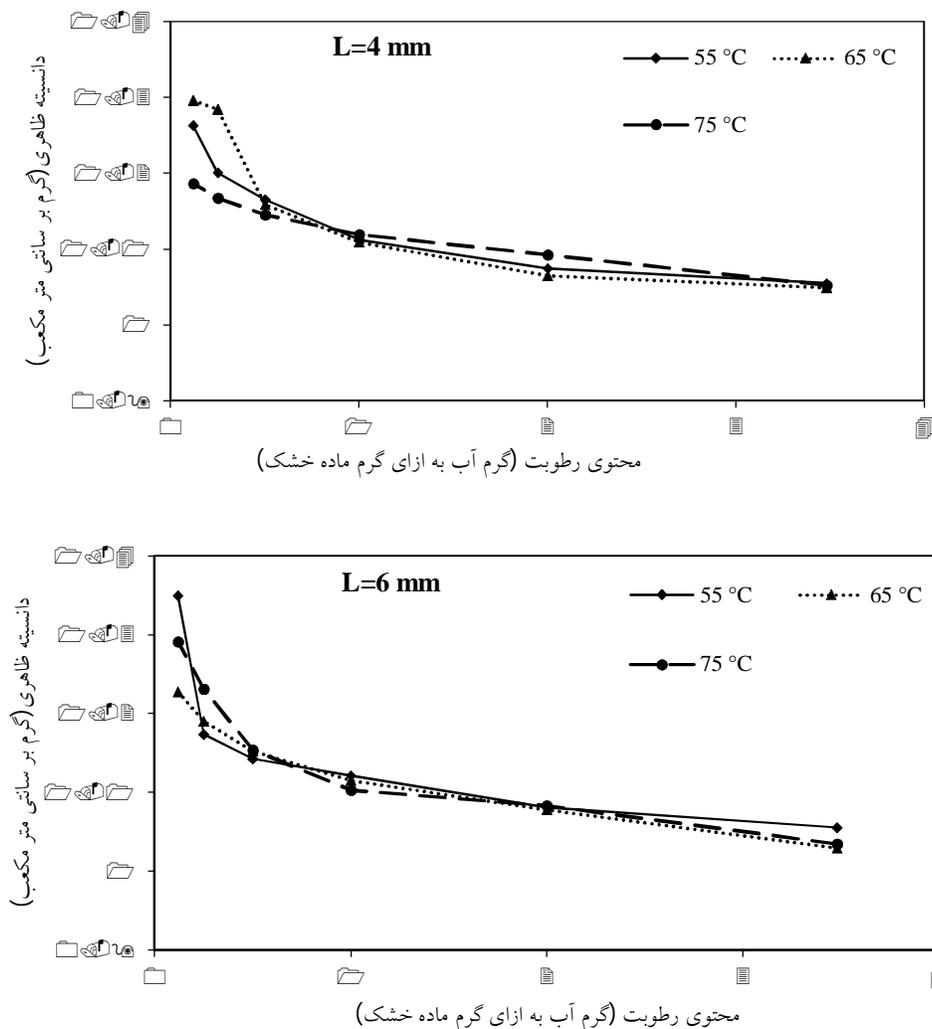
شکل 4 تغییرات دانسیته ظاهری نمونه‌های موز را به صورت تابعی از محتوی رطوبت خشک پایه در طی فرآیند خشک شدن نشان می‌دهد. با کاهش محتوی رطوبت، دانسیته ظاهری در تیمارهای مختلف افزایش می‌یابد. علت افزایش دانسیته ظاهری، کاهش بیشتر حجم موز در مقایسه با مقدار آب خارج شده از داخل ماده غذایی در بازه زمانی مورد نظر است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فاکتورهای دمای سطح محصول و ضخامت ورقه‌های موز اثر معنی‌داری بر روی تغییرات دانسیته ظاهری ندارند (جدول 4). با این حال بیشترین و کمترین مقدار دانسیته ظاهری موز خشک شده به ترتیب مربوط به دمای 55 درجه سانتی‌گراد و ضخامت 6 میلی‌متر و دمای 75 و ضخامت 4 میلی‌متر

می‌باشد. چندین محقق از قبیل Talla و همکاران (2004)، Fernandez و همکاران (2008)، Koc و همکاران (2008)، Ortuno و همکاران (2010) و قربانی و همکاران (1392) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند به طوری که در محصولاتی مانند موز، آناناس و به و پرتقال و آلو تحرک ماتریکس جامد در حین خشک شدن و به تبع آن چروکیدگی محصول در مقابل میزان تغییرات رطوبت طوری است که در پایان فرآیند موجب افزایش دانسیته محصول می‌گردد که مشابه نتیجه تحقیقات حاضر است. این درحالی است که در بعضی از محصولات مانند سیب و سیب‌زمینی، مقدار حجم کاهش یافته در مقایسه با حجم آب تبخیر شده در طول فرآیند خشک کردن کمتر و به تبع آن دانسیته محصول نسبت به وضعیت اولیه، کاهش می‌یابد.

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای سطح محصول و ضخامت نمونه‌ها بر روی دانسیته ظاهری نمونه‌های موز خشک شده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
دمای سطح محصول	2	0/007051 ns
ضخامت	1	0/007459 ns
اثر متقابل دمای سطح محصول و ضخامت	2	0/013578 ns
بلوک	2	0/000663 ns
خطا	10	0/015372

ns نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن می‌باشد



شکل 4- تغییرات دانشیه ظاهری نمونه‌های موز را به صورت تابعی از محتوی رطوبت خشک پایه

محصول و ضخامت نمونه‌ها اثر معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد روی شاخص‌های رنگ مذکور دارند (جدول 5).

نتایج مقایسه میانگین اثر دمای سطح محصول بر روی شاخص‌های رنگ از قبیل شفافیت، زردی و قرمزی در جدول 6 ارائه شده است. بر اساس نتایج با افزایش دمای سطح محصول از شفافیت میوه‌ها کاسته شده و بر میزان قرمزی آنها افزوده شده است. همچنین با افزایش ضخامت نمونه‌ها نیز رنگ میوه‌ها کدرتر شده است که دلیل آن طولانی بودن زمان خشک‌شدن و تاثیر حرارت بر رنگ دانه‌ها در طول زمان‌های بالای خشک شدن می‌باشد (جدول 7).

تغییرات شاخص‌های رنگ در حین خشک شدن شاخص‌های شفافیت، قرمزی و زردی

نتایج مطالعه شاخص‌های رنگ نمونه‌های موز نشان می‌دهد که با پیشرفت خشک کردن و کاهش رطوبت محصول، مقادیر شاخص‌های شفافیت (L) و زردی (b) به صورت تابعی از محتوی رطوبت ماده کاهش می‌یابند. ولی شاخص قرمزی (a) در طول فرآیند افزایش یافته و بر میزان شدت قرمزی ماده افزوده می‌شود. به طور کلی در طول خشک کردن رنگ محصول تیره‌تر می‌شود که به دلیل تغییر در رنگ دانه‌ها، واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی (میلارد) و کاراملیزاسیون می‌باشد. همان طوری که نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد دمای سطح

جدول 5- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای سطح محصول و ضخامت نمونه‌ها بر روی شاخص‌های رنگ موز خشک شده

ΔE	میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییر
	b	a	L		
120/917**	7/2625**	2/00914**	128/782**	2	دمای سطح محصول
48/23**	25/7602**	1/20988**	29/219**	1	ضخامت
0/857 ^{ns}	1/4165*	0/00765 ^{ns}	0/159 ^{ns}	2	اثرات متقابل دمای سطح محصول و ضخامت
0/412	0/1610	0/00617	0/661	2	بلوک
0/238	0/3370	0/02632	0/387	10	اشتباه

** و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال 1 و 5 درصد است.

^{ns} نشان دهنده عدم معنی‌دار بودن می‌باشد.

جدول 6- مقایسه میانگین اثر دمای سطح محصول روی شاخص‌های رنگ

ΔE	ب زردی	قرمزی a	شفافیت نهایی (L)	دمای سطح محصول (°C)	
28/99 ^A	19/25 ^A	4/41 ^A	94/25 ^A	55	
35/59 ^B	18/35 ^B	5/33 ^B	18/83 ^B	65	
37/57 ^C	17 ^C	5/47 ^B	17/24 ^C	75	

حروف متفاوت نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد می‌باشد.

جدول 7- مقادیر شاخص‌های رنگ در ضخامت‌های مختلف ورقه‌های موز

ΔE	b	a	L	ضخامت
33/41	19/42	4/81	21/94	4
35/69	17/02	5/33	19/39	6

تغییرات کلی رنگ نمونه‌ها

تغییرات کلی رنگ اولیه اسلایس‌های موز نسبت به انتهای فرآیند خشک کردن، تابع میزان تغییرات توام شاخص‌های رنگی ΔE ، a و b است به طوری که هرچه مقدار تغییرات این شاخص‌ها در طول فرآیند خشک کردن بیشتر باشد مقدار تغییر رنگ کلی نیز افزایش می‌یابد که بزرگی داده‌ها نشانگر کاهش کیفیت و میزان صدمات در طول فرآیند خشک کردن می‌باشد. به وضوح می‌توان اظهار نمود استفاده از شاخص تغییر رنگ کلی (ΔE) برای بیان تغییرات کیفی (رنگ) بهتر از استفاده منفرد از مقادیر a ، b و L می‌باشد. بر مبنای نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (جدول 5 و 6)، با افزایش دما تغییرات کلی رنگ افزایش یافته است. ضخامت نیز تأثیر مشابهی داشته و افزایش آن موجب افزایش رنگ کلی نمونه‌ها از 33/41 به 35/69 گردید.

Thuwapanichayanan و همکاران (2011) بیان داشتند که طی فرآیند خشک کردن همرفتی ورقه‌های موز، افزایش دمای هوای گرم از 70 به 90 درجه سانتی‌گراد تأثیر معنی‌داری در شاخص‌های رنگ نمونه‌ها نداشت ولی افزایش بیشتر دما از 90 به 100 درجه سانتی‌گراد منجر به قهوه‌ای‌تر شدن ورقه‌های موز گردید. Baini و Langrish

(2009) نیز گزارش کردند که افزایش دمای هوا از 50 به 80 درجه سانتی‌گراد تأثیر محسوسی روی آهنگ قهوه‌ای شدن ورقه‌های موز نداشت. ولی افزایش دمای هوا به 100 درجه سانتی‌گراد روی شاخص‌های رنگ تأثیرگذار بود. Pekke و همکاران (2013) طی خشک کردن ورقه‌های موز به دو روش هوای گرم و مادون قرمز گزارش کردند که تغییر رنگ نمونه‌های موز در خشک کردن به روش مادون قرمز بیشتر از خشک کردن با هوای گرم است. به طوری که در ضخامت 5 میلی‌متر، شاخص تغییرات رنگ کلی ورقه‌های موز با افزایش دمای هوای گرم از 60 به 80 درجه سانتی‌گراد از 21 به 26 افزایش یافت ولی میزان افزایش آن در خشک کردن به روش مادون قرمز و در دمای یکسان از 25 به 37 بود. به عبارت دیگر می‌توان عنوان نمود که در موقع استفاده از خشک کن مادون قرمز و ترکیبی، مقادیر تغییر رنگ کلی در محدوده 30 تا 40 قرار می‌گیرد و دلیلی اصلی آن افزایش جذب امواج مادون قرمز در لایه سطحی محصول و به تبع آن افزایش دمای سطحی محصول و بروز تغییر در ساختار رنگ دانه‌ها و نهایتاً تغییر رنگ کلی می‌باشد.

به طوری که برای جلوگیری از تغییرات رنگ محصول در حین فرآیند خشک کردن استفاده از دمای سطح محصول 55 درجه سانتی‌گراد و

ضخامت 4 میلی‌متر ورقه‌های موز ارجح تر می باشد. این در حالیست که در این تیمار، زمان خشک شدن ورقه‌های موز طولانی تر می باشد. با این وجود برای حفظ کیفیت مطلوب میوه‌های خشک شده به خصوص حفظ رنگ آنها، لازم است از دمای سطح محصول پایین استفاده شود زیرا رنگ محصول اولین شاخص در مشتری‌پسندی محصول بوده و مصرف‌کننده‌ها بیشتر به شفافیت و رنگ محصول اهمیت می‌دهند. برای جبران طولانی شدن زمان خشک شدن و نیز برای جلوگیری از مصرف انرژی بیشتر، استفاده از ضخامت‌های کمتر اسلایس‌ها (کمتر از 4 میلی‌متر) توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم توسعه داده شد و برای آزمون و ارزیابی آن، سینتیک خشک شدن لایه نازک موز با استفاده از خشک‌کن مذکور مورد بررسی قرار گرفت. چنانکه

منابع

- امیرنجات، ح.، 1389، ارزیابی اثرات توأم روش‌های جابه‌جایی حرارت و تابش اشعه مادون قرمز بر خشک کردن لایه نازک قارچ خوراکی، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
- موسوی بایگی، ف.، فرهمند، ع.، تقی‌زاده، م. و ضیا فروغی، 1، 1395، مدل سازی خشک کردن لایه نازک خرما لوله به دو روش هوای داغ و مادون قرمز، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، دوره 13، شماره 53، 161-171.
- بدافی، ا.، 1392، طراحی و ساخت خشک‌کن آزمایشگاهی ترکیبی مادون قرمز هوای گرم، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- زیرجانی، ل. و توکل پور، ح.، 1389، مطالعه امکان تولید برگه موز توسط روش خشک کردن ترکیبی هوای گرم و ماکروویو، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد 66، شماره 1، 73-86.
- حسینی قاپوس، س.، سیدین اردبیلی، م.، کاشانی نژاد، م.، اسدی، غ. و اعلمی، م.، 1395، سینتیک انتقال جرم خشک کردن ترکیبی مادون قرمز- هوای داغ کدو حلوائی، علوم غذایی و تغذیه، دوره 13، شماره 4، 5-16.
- قربانی، ر.، دهقان نیا، ج.، سیدلو هریس، س. و قنبرزاده، ق.، 1392، مدل سازی دانسیته ظاهری در طی خشک کردن آلوی پیش تیمار شده با اولتراسوند و آبیگری اسمزی. فصلنامه علوم و فناوری‌های نوین غذایی، دوره 1، شماره 2، 23-38.
- کریمی، ف.، 1390، مدل سازی سینتیک خشک کردن ورقه‌های موز، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

AOAC, 1990, Official Method of Analysis, Association of Official Analytical Chemists (No.934.06).

Baini, R., & Langrish, T. A. G., 2009, Assessment of colour development in dried bananas measurements and implications for modelling. *Journal of Food Engineering*, 93, 177-182.

Cakmak, G. & Yildiz, C., 2011, the drying kinetics of seeded grape in solar dryer with PCM-based solar integrated collector. *Food and Bioproducts Processing*, 89, 103-108.

Doymaz, I. & Pala, M., 2002, the effect of dipping pretreatment on air-drying rates of the seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 52: 413-417.

Doymaz, I., 2007, the kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 79, 243-248.

Fernandez, F. A.N., Linhares J.F.E. & Rodrigues, S., 2008, Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Son chemistry*, 15, 1049-1054.

Hakan, O.M. & Can, E., 2006, Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of Food Engineering*, 77, 119-125.

Hebbbar, U.H., Vishwanatham, K.H. & Ramesh, M.N., 2004, combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal*

انتظار می‌رفت خشک‌کن ترکیبی از نظر کاهش زمان خشک شدن و افزایش کیفیت محصول نهایی از دیدگاه کاهش چروکیدگی و دانسیته ظاهری، نسبت به روش همرفتی منفرد جذاب تر می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد زمان فرآیند خشک کردن لایه نازک موز تحت تأثیر حداکثر دمای سطح محصول تابعی از دمای منبع مادون قرمز و هوای گرم و ضخامت نمونه‌ها قرار دارد. به طوری که زمان فرآیند نسبت به روش‌های همرفتی هوای گرم کوتاهتر می‌باشد. همچنین استفاده از دماهای مختلف مادون قرمز تأثیر معنی‌داری روی چروکیدگی نهایی نمونه‌ها ندارد ولی شرایط مختلف خشک کردن روی کیفیت ظاهری نمونه‌های موز معنی‌دار بود و با افزایش دمای منبع مادون قرمز و هوای گرم مقدار تغییر رنگ کلی افزایش می‌یابد که یک نکته منفی از دیدگاه مصرف‌کننده نهایی است. مدل پیچ بهترین مدل جهت توصیف رفتار خشک شدن ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم ورقه‌های موز، با بیشترین مقدار R^2 و حداقل مقدار RMSE می‌باشد.

- of *Food Engineering*, 65, 557-563.
- Khampakool, A., Soisungwan, S., & Sung S.H., 2019. Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: Drying kinetics, energy consumption, and texture. *LWT - Food Science and Technology*, 99, 355-363.
- Koc, B., Eren, I. & Ertekin, F. K., 2008, Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85, 340-349.
- Ortuno, C., Pérez-Munuera, I., Puig, A. & Riera, E., 2010, Influence of power ultrasound application on mass transport microstructure of orange peel during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 3, 153-159.
- Pan, Z. & Atungulu, G. G., 2011, Infrared heating for food and agricultural processing. *Taylor & Francis Group*, 5, 353-360.
- Pekke, M.A., Pan, Z., Atungulu, G.G., Gary Smith, G., & Thompson, J.F., 2013, Drying characteristics and quality of bananas under infrared radiation heating. *International Journal of Agricultural and Biology Engineering*, 6 (3), 58-70.
- Sharma, G. P., Verma, R. C. & Pathare, P. B., 2005, Thin-layer infrared radiation drying of onion slice. *Journal of Food Engineering*, 67, 361-366.
- Swasdisevi, T., Devahastin, S., Sa-Adchom, P. & Soponronnarit, S., 2009. Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice. *Journal of Food Engineering*, 92, 100-106.
- Talla, A., Puiggali, J.-R., Jomaa, W. & Jannot, Y., 2004, Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: application to banana. *Journal of Food Engineering*, 64, 103-109.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Jaruwat Kunwisawa, J., & Soponronnarit, S., 2011, Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1502-1510.
- Yaldiz, O., Ertekin, C. & Uzun, H. I., 2001, Mathematical modeling of thin layer drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457-465.
- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M.J. & Oliveira, F.A.R., 2008, Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 84, 430-4.

Development, assessment and evaluation of a combined infrared and hot-air dryer to determine its performance characteristics during banana slice drying

P. Ahmadi Gheshlagh¹, S. S. Seiedlou^{2*}, H. Nalbandi³

Received: 2018.10.30

Accepted: 2019.05.08

Introduction: Thin layer drying of agricultural products using an infrared dryer (IR) is one of the interesting and low cost methods of dehydration. Quality of dried products could be increased if the engineering aspects and proper selection of performance parameters be well considered in the designing of a dryer. The dryer that uses two or more drying methods in combination, produces in the most cases the higher quality product with lower energy consumption.

Materials and methods: In this study, an available IR dryer was modified and a combined IR and hot-air dryer was constructed. According to the reported quality factors in the literatures and market desire, the developed dryer performance was evaluated during the drying of banana slices. The studied factors were the effects of the thickness of slices (4 and 6 mm) and the surface temperature of the product (55, 65 and 75 °C) on the drying kinetic and quality of the dried product. Some various mathematical models were fitted to the experimental data and results and among them the best fitted model was selected.

Results & discussion: Based on the results, the different surface temperature and thickness of the slices had a significant effect on the drying time and color changes of the samples. However, they did not affect the density of samples. Drying time of the banana slices (to reach the moisture ratio of 0.04) with the thickness of 4 mm was 155, 105 and 80 min at the surface temperatures of 55, 65 and 75 °C, respectively. At the thickness of 6 mm, the drying time was 230, 130 and 100 min, respectively at the mentioned temperature. The minimum color change were observed at the thickness of 4 mm ($\Delta E=32.41$) and surface temperature of 55°C ($\Delta E=28.99$). The samples dried at the temperature of 55 °C had the best quality. Evaluation of the various mathematical models indicated that the Page model is the most suitable to predict the drying kinetic of banana slices under the studied condition. Comparing the obtained results with the reported ones for just hot-air or IR drying of banana slices; it is obvious that in point of product quality and drying time, the combined IR and hot-air dryer has better conditions.

Key words: Mathematical Model, Banana, Combined IR and Hot-Air Dryer, Qualitative Properties

1. MSc student, Technical and Vocational University Beheshti of Urmia.

2 and 3. Associate Professor and Assistant Professor, Department of agricultural mechanization engineering, University of Tabriz.

*(Corresponding author: email: ss_seiedlo@yahoo.com)

بهینه‌یابی فرمول و فرآیند دونات غنی‌شده با باگاس نیشکر و پلی‌ساکارید محلول سویا

محبوبه داراپور¹ - بهزاد ناصحی^{2*} و³ - حسن برزگر³ - حسین جوینده³

تاریخ دریافت: 1397/04/21

تاریخ پذیرش: 1398/01/17

چکیده

سالانه مقادیر زیادی از پسماند کارخانه‌های فرآوری محصولات کشاورزی وارد چرخه ضایعات می‌شوند. این در حالی است که برخی از آنها سرشار از فیبر و ترکیبات فعال زیستی هستند، بنابراین این پژوهش برای به‌کارگیری آنها به‌عنوان ترکیبات عملگر در غنی‌سازی محصولات غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این راستا در این پژوهش اثر فیبر باگاس نیشکر (25- صفر درصد)، پلی‌ساکارید محلول سویا (2- صفر درصد) و زمان سرخ کردن (5-2 دقیقه) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی دونات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که افزایش فیبر باگاس نیشکر سبب افزایش مقدار رطوبت، چربی، سفتی، چسبندگی و صمغی‌بودن و کاهش حجم مخصوص، تخلخل و شاخص روشنایی پوسته و مغز تیمارها می‌شود. همچنین افزایش زمان سرخ کردن نیز سبب افزایش سفتی، چسبندگی، صمغی‌بودن و کاهش محتوی رطوبت، تخلخل و شاخص روشنایی پوسته شد. علاوه بر این با افزایش درصد این منبع فیبری، پذیرش کلی فرآورده کاهش یافت. با این حال پلی‌ساکارید محلول سویا اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی دونات نداشت. تحلیل آماری و بهینه‌یابی با طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر حاکی از آن است که اگر تیمار حاوی 9/09 درصد فیبر باگاس نیشکر و 0/78 درصد پلی‌ساکارید محلول سویا طی 2/60 دقیقه سرخ شود، نمونه‌ای به‌دست می‌آید که دارای مطلوب‌ترین کیفیت است. بررسی ویژگی‌های نمونه بهینه نشان داد که مقدار رطوبت، فیبر، عناصر آهن و روی، پذیرش کلی و نرمی بافت بیشتر نسبت به نمونه کنترل داشت.

واژه‌های کلیدی: فیبر باگاس نیشکر، پلی‌ساکارید محلول سویا، غنی‌سازی، دونات

مقدمه

سالانه مقادیر زیادی از پسماند کارخانه‌های فرآوری محصولات کشاورزی وارد چرخه ضایعات می‌شوند. این در حالی است که برخی از آنها سرشار از فیبر و ترکیبات فعال زیستی هستند؛ بنابراین پژوهش برای به‌کارگیری آنها به‌عنوان ترکیبات عملگر در غنی‌سازی محصولات غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است (Ktenioudaki et al., 2012). از سوی دیگر مصرف مقدار کافی فیبر رژیمی سبب تنظیم عبور و مرور روده‌ای، پیشگیری و درمان دیابت، بیماری‌های قلبی و عروقی و سرطان روده‌ی بزرگ می‌باشد (Macagnan et al., 2015). در این راستا در دهه‌های گذشته، گرایش به جستجوی منابع جدید فیبر رژیمی و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند محصولات جانبی کشاورزی که کم ارزش تلقی می‌شدند وجود داشته است. باگاس نیشکر باقی‌مانده حاصل از خرد کردن نیشکر برای استخراج فاز مایع است (Rodriguez et al., 2016). میزان ترکیبات شیمیایی در باگاس متغیر است، به طوری که میزان سلولز 39-45 %، همی‌سلولز (زایلوز، آرابینوز، گالاکتوز، گلوکوز، مانوز) 23-27 %، لیگنین 19-23 %، عصاره 5-7 % (de Carvalho et al., 2015) است. همچنین این ماده دارای ترکیبات فنولیک، موم و مواد معدنی می‌باشد (Sun et al., 2004). در حال حاضر باگاس در تولید سیمان (Tian et al., 2016) شن و ماسه (Sales et al., 2010)، نئوپان (Garzon-Barrero et al., 2016)، آزیپها (Bocchini et al., 2005)، پروتئین‌های تک‌یاخته (Rodriguez et al., 1992)، وانیلین (Mathew & Abraham, 2005)، اسیدهای سوکسینیک (Chen et al., 2016)، سیتریک (ذوقی و همکاران، 1392)، لاکتیک (Laopaiboon et al., 2010) کاربرد دارد. از آنجایی که مواد لیگنوسولوزی به‌خوبی آب جذب نمی‌کنند، به‌خوبی با خمیر ترکیب نمی‌شوند، بنابراین اعمال یک پیش تیمار سبب کاهش سختی آن می‌شود (de Carvalho et al., 2015). در حال حاضر تعدادی از این روش‌ها شامل اسید رقیق، هیدروترمال، قلیایی، حلال‌های آلی و انبساط فیبر آمونیاک گسترش پیدا کرده‌اند تا سبب افزایش قابلیت دسترسی سلولز شوند (Meng et al., 2014). پلی‌ساکاریدهای محلول سویا بیوپلیمرهای اسیدی محتوی 18 درصد گالاکتورونیک اسید بوده که ساختاری شبیه به پکتین دارند و طی فرآیند تولید ایزوله پروتئین سویا

سالانه مقادیر زیادی از پسماند کارخانه‌های فرآوری محصولات کشاورزی وارد چرخه ضایعات می‌شوند. این در حالی است که برخی از آنها سرشار از فیبر و ترکیبات فعال زیستی هستند؛ بنابراین پژوهش برای به‌کارگیری آنها به‌عنوان ترکیبات عملگر در غنی‌سازی محصولات غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است (Ktenioudaki et al., 2012). از سوی دیگر مصرف مقدار کافی فیبر رژیمی سبب تنظیم عبور و مرور روده‌ای، پیشگیری و درمان دیابت، بیماری‌های قلبی و عروقی و سرطان روده‌ی بزرگ می‌باشد (Macagnan et al., 2015). در این راستا در دهه‌های گذشته، گرایش به جستجوی منابع جدید فیبر رژیمی و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند محصولات جانبی کشاورزی که کم ارزش تلقی می‌شدند وجود داشته است. باگاس نیشکر باقی‌مانده حاصل از خرد کردن نیشکر برای استخراج فاز مایع است (Rodriguez et al., 2016). میزان ترکیبات شیمیایی در باگاس متغیر است، به طوری که میزان سلولز 39-45 %، همی‌سلولز (زایلوز، آرابینوز، گالاکتوز، گلوکوز، مانوز) 23-27 %، لیگنین 19-23 %، عصاره 5-7 % (de Carvalho et al., 2015) است. همچنین این ماده دارای ترکیبات فنولیک، موم و مواد معدنی می‌باشد (Sun et al., 2004). در حال حاضر باگاس در تولید سیمان (Tian et al., 2016) شن و ماسه (Sales et al., 2010)، نئوپان (Garzon-Barrero et al., 2016)، آزیپها (Bocchini et al., 2005)، پروتئین‌های تک‌یاخته (Rodriguez et al., 1992)، وانیلین (Mathew & Abraham, 2005)، اسیدهای سوکسینیک (Chen et al., 2016)، سیتریک (ذوقی و همکاران، 1392)، لاکتیک (Laopaiboon et al., 2010) کاربرد دارد. از آنجایی که مواد لیگنوسولوزی به‌خوبی آب جذب نمی‌کنند، به‌خوبی با خمیر ترکیب نمی‌شوند، بنابراین اعمال یک پیش تیمار سبب کاهش سختی آن می‌شود (de Carvalho et al., 2015). در حال حاضر تعدادی از این روش‌ها شامل اسید رقیق، هیدروترمال، قلیایی، حلال‌های آلی و انبساط فیبر آمونیاک گسترش پیدا کرده‌اند تا سبب افزایش قابلیت دسترسی سلولز شوند (Meng et al., 2014). پلی‌ساکاریدهای محلول سویا بیوپلیمرهای اسیدی محتوی 18 درصد گالاکتورونیک اسید بوده که ساختاری شبیه به پکتین دارند و طی فرآیند تولید ایزوله پروتئین سویا

* - نویسنده مسئول: (Email: Nasehi.b@pnum.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v15i2.74091

1 و 3 - به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.
2 - دانشیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران.

رها کردن آن در طبیعت (سبب انتشار آفات و بیماری‌ها، ایجاد رقابت بین گیاه و میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده این مواد و بروز مشکلاتی در آبیاری) یا امحاء باگاس از طریق سوزاندن ایجاد می‌شود از یکسو و بررسی امکان تولید دونات تخمیری فراسودمند از سوی دیگر انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های دونات بر اساس فرمولاسیون و دستور پخت نوری و همکاران (1394) با اندکی تغییرات تهیه شدند. پلی‌ساکارید محلول سویا از شرکت فوجی اوایل ژاپن خریداری شد. مواد شیمیایی مورد نیاز نیز از شرکت سامچون کره خریداری گردید.

جدول 1- فرمولاسیون دونات

مشخصات	وزن (%) (براساس وزن آرد)	اجزاء سازنده
شرکت آرد جنوب، اهواز	100	آرد گندم
-	10/7	آب
شرکت فرآورده‌های غذایی و پروتئینی بهینه وزین، البرز	18/7	شور تیننگ
شرکت تالونگ تهران	12/4	تخم مرغ
-	26/7	آب مخمر
شرکت کوشا تغذیه ماندگار، تهران	6/2	شکر
شرکت پارسیان صنعت شایان، نظرآباد	6/2	پودر شیر خشک بدون چربی
شرکت خیرمایه رضوی، مشهد	2/9	مخمر خشک فعال
شرکت اسپیدان، فارس	1	نمک
خرس قطبی، چین	0/15	وانیل (کریستاله)
کارخانه هرمین، شهریار	1/5	بکینگ پودر

نگه‌داشته شد. آرد گندم و منابع فیبری شامل باگاس و پلی‌ساکارید محلول سویا و بکینگ پودر در یک ظرف جداگانه به صورت دستی مخلوط شدند. سپس شکر، پودر شیر خشک بدون چربی، نمک و وانیل و شور تیننگ در ظرف دیگری به مدت 1 دقیقه با دور تند مخلوط و سپس تخم مرغ اضافه گردید و به مدت 1 دقیقه با دور تند هم زده شدند. سپس آب به مواد فوق اضافه گردید و با دور کند به مدت 30 ثانیه مخلوط شدند. مخلوط آرد به تدریج اضافه شد و مقداری از آن نگه داشته شد. سپس سوسپانسیون مخمر افزوده شد و در انتها مخلوط آرد باقی مانده را افزوده و تا تشکیل یک خمیر مناسب ورز داده شد. سپس خمیر تحت فرآیند تخمیر اولیه (به مدت 30 دقیقه، در دمای اتاق) قرار گرفت. آنگاه خمیر را به ضخامت 1 سانتی متر پهن کرده و با قالب مربعی به ابعاد 5x5 سانتی متر قالب زده شد و دوباره به مدت 15 دقیقه تحت فرآیند تخمیر ثانویه قرار گرفت. خمیر قالب‌گیری شده در یک سرخ‌کن حاوی روغن مخصوص سرخ‌کردنی (آفتاب، مارگارین سهامی عام، تهران، ایران)، در دمای 180 ± 2 درجه سانتی‌گراد به مدت 216 ثانیه سرخ شد. دونات‌ها پس از خروج از سرخ‌کن بر روی دستمال

یا توفو به دست می‌آیند. این پلی‌ساکارید نه تنها به عنوان منبع فیبر رژیمی بلکه به عنوان یک ترکیب عملگر در صنایع غذایی و دارویی کاربرد دارد (Nakamura et al., 2004).

دونات، تنها فرآورده صنعتی گندم است که علی‌رغم داشتن چربی زیاد به دلیل سرخ شدن در روغن، ویژگی‌های حسی جذابی دارد. لذا یکی از اهداف پژوهشگران در سال‌های اخیر یافتن راهکارهایی برای بهبود کیفیت آن با کاهش جذب روغن مانند استفاده از پودر تفاله هویج (نوری و همکاران، 1394) یا پودر پالپ پرتقال (یوسفی و همکاران، 1397) یا افزایش ترکیبات سلامتی بخش مانند فیبر بوده است. لذا این پژوهش با هدف جلوگیری از بروز مشکلات زیست‌محیطی که در اثر

فرآوری باگاس نیشکر

باگاس نیشکر از کارخانه کشت و صنعت دعبل خزائی واقع در جاده قدیم اهواز- آبادان تهیه و پس از حذف ناخالصی‌ها بوسیله آب شست‌وشو و در آفتاب خشک شد. سپس باگاس توسط سدیم هیدروکسید 0/25 مولار به نسبت 1 گرم با 20 میلی‌لیتر محلول در ارلن مخلوط و به مدت 3 ساعت در دمای 80 درجه سانتی‌گراد در بن ماری (WNE 7-45، آلمان) قرار گرفت. بعد از آن توسط آب برای حذف سدیم هیدروکسید باقی‌مانده شسته شد، سپس به مدت حدود 4 ساعت به آن 60 درجه سانتی‌گراد منتقل شد تا خشک شود. در پایان با آسیاب آزمایشگاهی (Sweden, Perten) آسیاب شد تا اندازه آن تا کمتر از 0/475 میلی‌متر کاهش یافت. با این فرآوری حدود 84 درصد لیگنین از باگاس حذف شد (Gao et al., 2013).

تهیه دونات

بدین منظور ابتدا برای فعال‌سازی مخمر، آب مخصوص آن در دمای 35 درجه سانتی‌گراد به مدت 5 دقیقه در یک لیوان شیشه‌ای

ارزیابی روش‌نمایی رنگ

این پارامتر با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (کونیکا مینولتا، CR-400، ژاپن) اندازه‌گیری شد. بعد از روشن نمودن دستگاه، چشمی آن را نزدیک به صفحه استاندارد سفید (صفحه کالیبراسیون) قرار داده و پس از فشردن ماشه، دستگاه، اعداد مربوط به کالیبراسیون ($L^*=94/43$ ، $a^*=-0/25$ ، $b^*=2/04$) را نشان داد. بعد از کالیبره نمودن، چشمی دستگاه را نزدیک به سطح هر تیمار قرار داده و از 3 نقطه آن عکس برداری انجام شد. از هر تیمار، 3 نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت عدد مربوط به شاخص روش‌نمایی از میانگین 9 عدد حاصل شد. در این آزمون برای هر تیمار، رنگ مربوط به پوسته و مغز اندازه‌گیری شد (نوری و همکاران، 1394).

ارزیابی حجم مخصوص

حجم نمونه‌های دونات با استفاده از روش جابه‌جایی دانه کلزا، با استناد به روش شماره AACC 10-05 محاسبه شد. سپس حجم مخصوص نمونه‌های دونات با تقسیم حجم بر وزن آن‌ها تعیین شد.

ارزیابی حسی

آزمون حسی با روش پیشنهادی رجب‌زاده (1371) انجام شد. 10 داور (6 خانم و 4 آقا) آموزش‌دیده انتخاب شدند، سپس خصوصیات حسی دونات از نظر نرمی بافت، قابلیت ارتجاعیت، قابلیت جویدن، رنگ، پوک و تخلخل، طعم، عطر و بوی تندشدگی چربی که به ترتیب دارای ضریب رتبه 2، 3، 3، 2، 3، 4 و 3 بودند، بر مبنای صفر تا پنج امتیاز مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس عدد کیفی یا پذیرش کلی بر اساس فرمول زیر محاسبه شد.

$$Q = \frac{\sum(P \times G)}{\sum P} \quad (1)$$

Q = پذیرش کلی؛ P = ضریب رتبه صفات؛ G = ضریب ارزیابی صفات

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش، به منظور تولید دونات‌هایی با محتوی فیبر بالا و مورد پذیرش مصرف‌کننده از شیوه سطح پاسخ با یک طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر استفاده شد. متغیرهای مستقل (فاکتورها) شامل فیبر باگاس نیشکر (در دامنه 25- صفر درصد) و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا (2- صفر درصد) و زمان سرخ کردن (5-2 دقیقه) بود. طبق آزمایشات مقدماتی دامنه هر یک از متغیرهای مستقل تعیین و پس از آن، 5 سطح از هریک از متغیرهای مستقل و 20 تیمار توسط نرم‌افزار مینی‌تب ارائه شد. متغیرهای وابسته که بهترین توصیف را از ویژگی‌های کیفی دونات داشتند شامل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بینایی و حسی بود. سپس بهینه‌سازی عددی با استفاده از ابزار بهینه‌سازی نرم‌افزار فوق

کاغذی قرار گرفته و پس از گذشت 30 دقیقه آزمون‌های لازم بر روی آنها انجام گرفت (Nouri et al., 2017).

ارزیابی ترکیبات شیمیایی

ترکیبات شیمیایی تیمارها شامل پروتئین نمونه‌های دونات به روش کج‌دال AACC 46-12، رطوبت دونات طبق روش AACC 44-16 و میزان چربی نمونه‌های دونات طبق روش استاندارد AACC 30-25 ارزیابی شد. میزان فیبر خام نمونه‌های دونات طبق روش استاندارد AOAC 991/43 محاسبه شد. اندازه‌گیری املاح معدنی نمونه‌های دونات شامل روی و آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Analytic jena، ContrAA300، آلمان) براساس استاندارد ملی ایران شماره 9266 انجام شد. برای ارزیابی پروکسید دونات، 0/1 تا 0/2 گرم نمونه روغن (بسته به میزان پراکسایش) در لوله‌های آزمایش 15 میلی‌لیتری وزن شد و با 9/8 میلی‌لیتر حلال کلروفورم-متانول (نسبت 7 به 3 حجمی/حجمی) مخلوط و به مدت 2-4 ثانیه هم‌زده شد. سپس به ترتیب 50 میکرولیتر محلول تیوسیونات آمونیوم و محلول آهن (II) اضافه و بعد از اضافه کردن هر کدام به مدت 2-4 ثانیه هم‌زده شد. پس از گذشت 5 دقیقه در دمای اتاق جذب نمونه‌ها در طول موج 500 نانومتر در برابر شاهد تعیین شد. تمامی مراحل زیر نور ملایم و به مدت 10 دقیقه صورت گرفت (Shantha et al., 1994).

ارزیابی بافت

پارامترهای بافت شامل سفتی، پیوستگی و صمغیت بافت نمونه‌های دونات طی نگهداری در فواصل زمانی 1، 3 و 5 روز بعد از سرخ شدن توسط دستگاه بافت‌سنج TA-XT-PLUS (Micro stable system، انگلستان) با استفاده از آزمون TPA بررسی شد. در این آزمایش ابتدا تیمارهای مختلف دونات به قطعاتی با ابعاد $2 \times 2 \times 2/5$ سانتی‌متری برش داده شده و بر روی صفحه نگهدارنده قرار داده شد. سپس پروب دستگاه با قطر 36 میلی‌متری و با سرعت 1 میلی‌متر بر ثانیه شروع به حرکت کرد و پس از تماس با سطح نمونه به میزان 35 درصد در نمونه فرو رفت و سپس با سرعت 5 میلی‌متر بر ثانیه از نمونه جدا شد و دوباره با سرعت 1 میلی‌متر بر ثانیه در نمونه فرو رفت. پس از بازگشت این مسیر، از روی صفحه نمایش دستگاه، عبارت‌ها و اعداد مربوط به هر پارامتر مورد نظر ثبت گردید. سفتی از نیروی بالاترین پیک در مدت اولین فشرده‌سازی به دست آمد. سفتی به‌عنوان نیروی لازم برای رسیدن به یک تغییر شکل تعریف می‌شود. پیوستگی از نسبت سطح نیروی مثبت در طی دومین دوره فشرده‌سازی در هنگام اولین فشرده‌سازی محاسبه می‌شود. صمغیت از حاصل ضرب سفتی در پیوستگی به دست آمد (Kim et al., 2015).

درجه دوم و ضریب اثرات متقابل و همچنین، X_i و X_j سطوح متغیرهای مستقل می‌باشند. با استفاده از آنالیز واریانس برای هر پاسخ، عبارات معنی‌دار ($p < 0/001$, $p < 0/01$ و $p < 0/05$) مشخص گردید (Nouri *et al.*, 2017)

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی

بررسی نتایج ارزیابی واریانس در جدول 2 نشان می‌دهد که متغیرهای فیبر باگاس و زمان سرخ کردن تأثیر خطی معنی‌داری به ترتیب در سطوح ($p < 0/001$) و ($p < 0/05$) بر محتوی رطوبت داشته‌اند.

به‌منظور دستیابی به سطوح بهینه متغیرهای مستقل و با در نظر گرفتن حداکثر سطح رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل، شاخص L پوسته، شاخص L مغز و پذیرش کلی و حداقل محتوی چربی، سفتی و چسبندگی و صمغی بودن (متغیرهای وابسته) انجام شد. پس از اجرای آزمون‌های آزمایشی، آنالیز رگرسیون بر اساس داده‌های آزمایشی انجام و با استفاده از رابطه زیر برای هریک از پاسخ‌ها یک مدل چندجمله‌ای درجه دوم برازیده شد.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_{ii}^2 + \sum_{1 \leq i < j}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

در این رابطه Y پاسخ برآورد شده و عبارات β_0 ، β_i ، β_{ii} ، β_{ij} به ترتیب ثابت معادله (عرض از مبدأ)، ضریب اثرات خطی، ضریب اثرات

جدول 2- آنالیز واریانس مربوط به ویژگی‌های دونات غنی شده

منبع	رطوبت	چربی	حجم مخصوص	سفتی	چسبندگی	صمغیت	رنگ	پذیرش کلی
β_0	27/64	12/112	0/538	0/303	0/043	-0/068	49/0141	3/609
β_1	0/39***	0/094**	-0/046***	0/029*	0/008*	0/022**	-1/037***	0/052**
β_2	-3/03*	2/739 ^{ns}	0/135 ^{ns}	0/087***	0/293*	0/067***	-8/242**	0/221 ^{ns}
β_3	3/17 ^{ns}	-0/670 ^{ns}	-0/217 ^{ns}	0/003 ^{ns}	0/068 ^{ns}	0/040 ^{ns}	-11/569 ^{ns}	0/063 ^{ns}
$\beta_1\beta_1$	-0/005 ^{ns}	0/009 ^{ns}	0/000 ^{ns}	0/0002 ^{ns}	-3/678 ^{ns}	-1/714 ^{ns}	0/012 ^{ns}	-0/002*
$\beta_2\beta_2$	-0/35 ^{ns}	-0/241 ^{ns}	-0/024 ^{ns}	0/032 ^{ns}	-0/032*	-0/008 ^{ns}	-1/872*	-0/055 ^{ns}
$\beta_3\beta_3$	-0/12 ^{ns}	-0/930 ^{ns}	-0/057 ^{ns}	0/031 ^{ns}	0/015 ^{ns}	0/029 ^{ns}	-0/600 ^{ns}	-0/245 ^{ns}
$\beta_1\beta_2$	0/0077 ^{ns}	-0/056 ^{ns}	-0/003 ^{ns}	-0/005 ^{ns}	0/000 ^{ns}	-0/002 ^{ns}	0/000 ^{ns}	-0/006 ^{ns}
$\beta_1\beta_3$	0/13 ^{ns}	-0/067 ^{ns}	0/006 ^{ns}	-0/011*	0/002 ^{ns}	-0/006 ^{ns}	0/307 ^{ns}	0/002 ^{ns}
$\beta_2\beta_3$	-1/45 ^{ns}	0/024 ^{ns}	0/052 ^{ns}	0/019 ^{ns}	-0/037 ^{ns}	-0/990 ^{ns}	2/501 ^{ns}	0/116 ^{ns}
Model (P-value)	0/000***	0/036*	0/000***	0/009**	0/031*	0/004**	0/004**	0/047*
Lack of fit (P-value)	0/495 ^{ns}	0/050 ^{ns}	0/106 ^{ns}	0/939 ^{ns}	0/254 ^{ns}	0/756 ^{ns}	0/062 ^{ns}	0/842 ^{ns}
R²	93/46	75/15	92/23	0/8221	76/17	85/03	85/06	73/50
Adj-R²	87/57	52/79	23/85	0/6619	54/72	71/55	71/61	49/65

β_0 : مقدار ثابت؛ β_1 : پودر باگاس؛ β_2 : زمان سرخ کردن؛ β_3 : هیدروکلونید سوبا

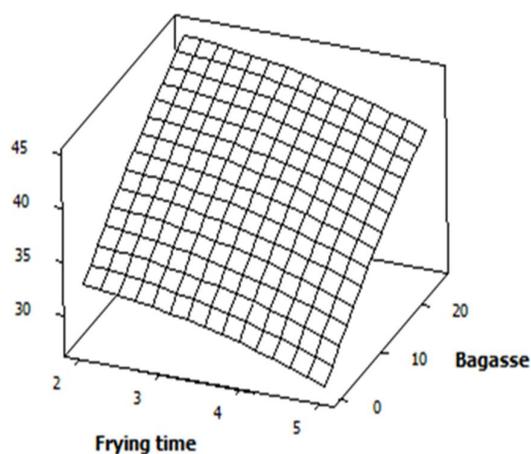
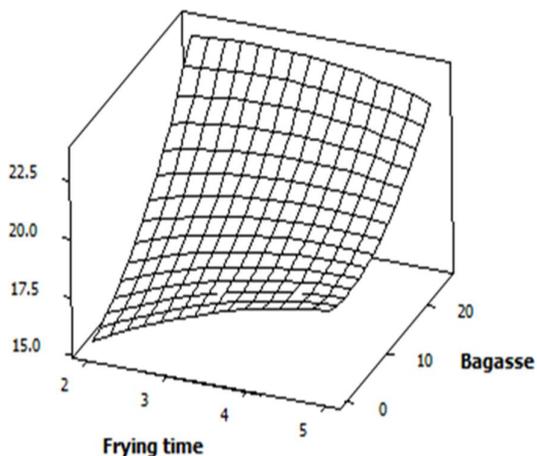
^{ns}، *، **، ***، **** به ترتیب نشانه عدم معنی‌داری، معنی‌داری در $P < 0/05$ ، $P < 0/01$ ، $P < 0/001$ و در $P < 0/0001$.

سرخ کردن، محتوی رطوبتی فرآورده دونات کاهش یافت. در محصولات سرخ شده با تبخیر رطوبت داخلی یک گرادیان فشار ایجاد می‌شود و سطح بیرونی محصول خشک شده و روغن به سطح می‌چسبد و از مناطقی که آسیب دیده‌اند وارد محصول می‌شود. پس با افزایش زمان سرخ کردن، رطوبت محصول کاهش یافته و روغن بیشتری جذب محصول می‌شود که با نتایج علی‌پور و همکاران (1388) مطابقت

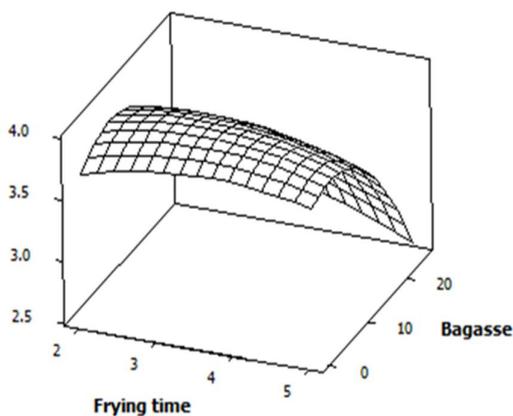
درحالی که اثر خطی پلی‌ساکارید محلول سوبا و اثر درجه دوم و اثر متقابل آنها معنی‌دار نشد. بر اساس نتایج افزایش فیبر باگاس نیشکر سبب افزایش محتوی رطوبت در فرآورده می‌شود، علت این امر را می‌توان به وجود تعداد زیاد گروه‌های هیدروکسیل در ساختار فیبر رژیمی و ایجاد پیوند هیدروژنی با مولکول‌های آب دانست که با نتایج Rosell و همکاران (2001) هم‌خوانی داشت. همچنین با افزایش زمان

داشت. شکل 1 (الف)، تأثیر متغیرهای فیبر باگاس نیشکر و زمان سرخ کردن را بر محتوی رطوبت نشان می‌دهد.

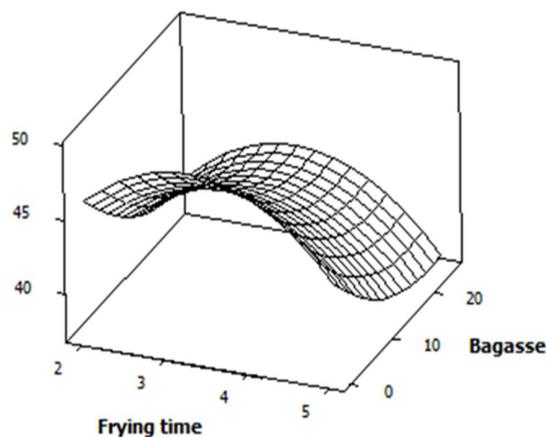
ب



د



ج



شکل 1- نمودار سطح و پاسخ اثر متغیر فیبر باگاس و زمان سرخ کردن بر الف: رطوبت؛ ب: چربی؛ ج: رنگ؛ د: پذیرش کلی دونات

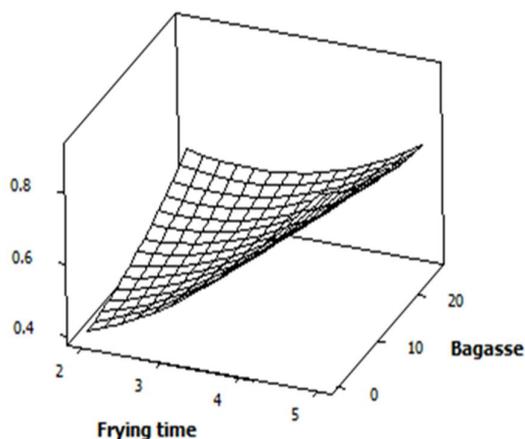
روشنایی رنگ

ارزیابی جدول 2، حاکی از آن است که فیبر باگاس نیشکر تأثیر خطی منفی معنی‌داری بر فاکتور L^* پوسته در سطح $(p < 0/001)$ از خود نشان داد. همچنین اثر خطی زمان سرخ کردن بر فاکتور L^* پوسته در سطح $(p < 0/01)$ ، منفی و معنی‌دار بود. به عبارت دیگر همان طوری که در شکل 1 (ج)، ملاحظه می‌شود، افزایش فیبر باگاس نیشکر سبب تیره‌تر شدن پوسته و مغز شد که با پژوهش Sangnark و همکاران (2004) هم‌خوانی داشت. همچنین با افزایش زمان سرخ کردن، رنگ پوسته تیره‌تر شد. رنگ پوسته تحت تأثیر واکنش‌های مایلارد و کاراملیزاسیون قرار دارد. طبق پژوهش‌های انجام شده، کاهش روشنایی

نتایج جدول 2، نشان می‌دهد که افزودن باگاس نیشکر تأثیر خطی مثبت معنی‌دار $(p < 0/01)$ بر محتوی چربی داشته در صورتیکه زمان سرخ کردن و پلی‌ساکارید سویا اثر خطی معنی‌داری بر این پاسخ نداشتند. طبق شکل 1 (ب) با افزایش فیبر باگاس نیشکر، محتوی چربی دونات‌ها افزایش می‌یابد. یافته‌های Caprez و همکاران (1986) نشان داد که فرآوری منابع فیبری سبب تغییر ویژگی‌های سطحی آن می‌شود که به دنبال آن جذب روغن افزایش می‌یابد، بنابراین با توجه به اینکه در این پژوهش باگاس مورد فرآوری قلیایی قرار گرفته است افزودن آن زمینه جذب روغن را فراهم کرده است.

کاهش می‌دهد. شکل 1 (د) حاکی از آن است که افزایش فیبر در محصول تا درصدی مشخص (حدود 12/5 درصد) برای ارزیاب‌ها خوشایند بوده است و پس از آن با غالب شدن عطر و طعم باگاس مطلوبیت کاهش یافته است. افزایش دمای سرخ کردن تأثیر منفی معنی‌داری بر طعم و مزه نمونه‌ها نشان داد. تأثیر منفی منابع فیبر خوراکی بر شاخص‌های حسی فرآورده‌های غلات در پژوهش‌های پیشین نیز به خوبی گزارش شده است (Ktenioudaki et al., 2012)

ب

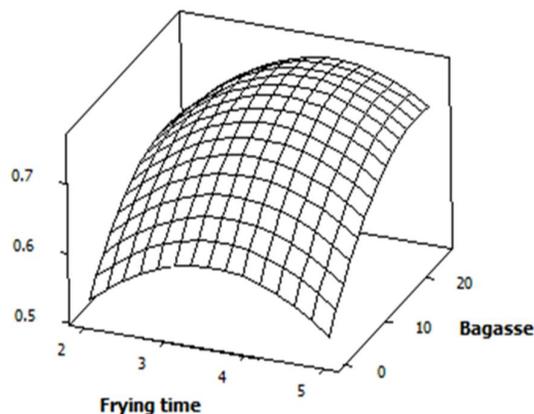


د

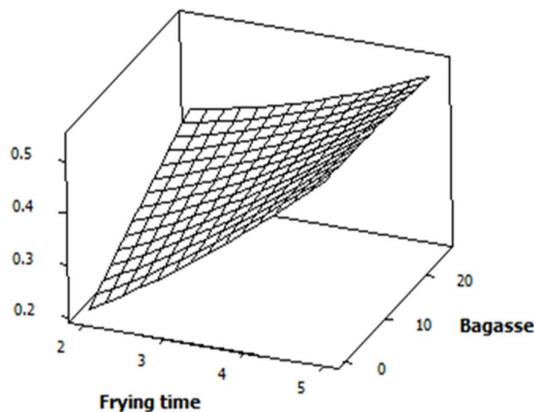
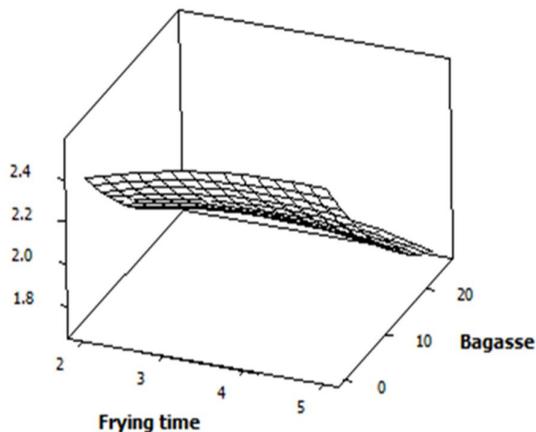
پوسته را می‌توان ناشی از حضور آب، لیگنین و مواد معدنی غیرمحلول (آهن، روی و پتاسیم) موجود در فیبر دانست (Yuksel et al., 2017)؛ (Nouri et al., 2017).

ویژگی‌های حسی

جدول 2 نشان می‌دهد که افزودن فیبر باگاس تأثیر خطی مثبت معنی‌داری بر پذیرش کلی داشت، در حالیکه اثر درجه دوم آن روند الف



ج



شکل 2- نمودار سطح پاسخ اثر فیبر باگاس و مدت سرخ کردن بر الف: پیوستگی ب: سفتی ج: صمغیت د: حجم مخصوص دونات

افزایش سفتی مغز فرآورده می‌شود که با نتایج Rosell و همکاران (2001) مطابقت داشت. همچنین با افزایش دمای سرخ کردن از 2 تا 5 دقیقه، شاهد افزایش سفتی در محصول نهایی بودیم که با نتایج Yuksel و همکاران (2017) مطابقت داشت. پلی‌ساکارید محلول سویا مشابه افزودن هیدروکلوئیدهایی مانند کاپا کاراگینان، هیدروکسی متیل سلولز و زانتان سبب افزایش حجم مخصوص و نگهداری آب و کاهش

بافت‌سنجی

همانطوری که در جدول 2 ملاحظه می‌شود، افزایش فیبر باگاس نیشکر تا بالاترین سطح (25 درصد) سبب افزایش معنی‌دار سفتی، پیوستگی و صمغیت شد (شکل 2). به نظر می‌رسد افزودن فیبر باگاس نیشکر به فرمولاسیون دونات سبب ضخیم‌تر شدن دیواره سلول‌های گاز و کاهش هوای محبوس در خمیر و متعاقب آن کاهش حجم و

بهینه‌سازی

با ارزیابی نتایج به‌دست آمده، بهترین فرمول با بالاترین مطلوبیت (D=1) به‌منظور تولید یک فرآورده باکیفیت تعیین شد. به‌طوری که تیمار دارای 9/09 درصد باگاس نیشکر، 0/78 درصد پلی‌ساکارید محلول سویا که طی 2 دقیقه و 36 ثانیه سرخ شود، بهترین کیفیت را داشت. پس از تولید نمونه بهینه، محتوی رطوبت، میزان پروکسید، حجم مخصوص، ویژگی‌های بافت در دوره ماندگاری (روزهای اول، سوم و پنجم) و میزان پروتئین و فیبر آن نیز با نمونه کنترل با استفاده از آزمون فیشر در سطح احتمال 5 درصد مقایسه شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل در برآورد فرمول بهینه، نمونه‌های تجربی تهیه و مقادیر شاخص‌های برآورد شده پاسخ‌ها با مقادیر تجربی مقایسه شد. بررسی جدول 3، نشان می‌دهد که بین مقادیر تجربی و مقادیر برآورده شده توسط نرم‌افزار، در اغلب پاسخ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت که نشان‌دهنده کفایت مدل است.

بررسی میزان عناصر معدنی دونات بهینه نشان داد که عناصر آهن و روی بیشتری نسبت به نمونه کنترل داشت (جدول 4). براساس نتایج زاندرسونز و همکاران (1999) میزان روی در خاکستر دو نمونه از باگاس نیشکر 64/8 و 127 میلی‌گرم به ازای یک کیلوگرم خاکستر باگاس بوده است. همچنین میزان آهن در خاکستر کاه و باگاس نیشکر به‌ترتیب 2/11 و 10/74 میلی‌گرم به ازای یک کیلوگرم خاکستر می‌باشد (Szczerbowski et al., 2014).

سفتی نان می‌شود که این ویژگی به دلیل حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار آنها می‌باشد.

حجم مخصوص

بررسی یافته‌های جدول 2 و شکل 2 (د)، نشان می‌دهد که مدل درجه دوم برازش شده برای پاسخ حجم مخصوص در سطح $(p<0/001)$ معنی‌دار و شاخص عدم برازش برای این مدل غیرمعنی‌دار شد $(p<0/05)$. همچنین فیبر باگاس تأثیر خطی منفی معنی‌دار در سطح $(p<0/001)$ بر این ویژگی داشته است. عوامل زیادی از جمله گرانبروی، محتوی آمیلوز و آمیلوپکتین، تجمع پروتئین‌ها هنگام گرمادهی و وجود ترکیبات فعال سطحی می‌تواند بر ویژگی‌هایی که مسئول حفظ گاز و توسعه خمیر و متعاقب آن حجم فرآورده‌اند تأثیر بگذارند (Alvarez-*et al.*, 2010). در پژوهش Sangnark و همکاران (2004) جایگزینی فیبر باگاس نیشکر با آرد گندم، سبب کاهش حجم مخصوص نان تولیدی می‌شود که با پژوهش حاضر مطابقت داشت. با افزایش زمان سرخ کردن، حجم نمونه‌ها کمتر شده و پوسته ضخیم‌تری ایجاد می‌گردد و علت آن را می‌توان به بیش از حد خشک شدن نمونه‌ها در زمان بالای سرخ کردن نسبت داد که با نتایج نقی‌پور و همکاران (1391) مطابقت داشت. کاهش حجم مخصوص در طی پخت در اثر دو پدیده اساسی یعنی باز شدن ساختار ماده و در نتیجه تسهیل خروج هوا و دیگری سفت شدن ساختار به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته است (نوری و همکاران، 1394). انتظار می‌رود هیدروکلوئیدها در مقادیر کم، باعث افزایش نگهداری آب و حجم خمیر و کاهش سفتی و رتروگراداسیون نشاسته شوند (Collar *et al.*, 1999).

جدول 3- مقایسه بین مقادیر برآوردشده و تجربی پاسخ‌های نمونه بهینه

مقدار برآورد	مقدار تجربی	صفت
0/443	0/578	سفتی (کیلوگرم)
0/653	0/701	چسبندگی
0/290	0/405	صمغی بودن
36/84	37/50	رطوبت (گرم/100 گرم)
2/23	1/76	حجم مخصوص (میلی‌لیتر/گرم)
18/37	18/63	محتوی چربی (گرم/100 گرم)
8/47	8/40	تخلخل
47/23	46/44	شاخص L پوسته
66/19	64/76	شاخص L مغز
4/055	4/032	پذیرش کلی

فرآورده را افزایش می‌دهند (Gulart *et al.*, 2012) که در مورد پژوهش حاضر نیز صدق می‌کند. بر اساس نتایج این جدول، اختلاف

همانطور که در جدول 4 نشان داده شده است، محتوی فیبر نمونه بهینه تقریباً 6 برابر نمونه کنترل بوده است که اختلاف در سطح 5% معنی‌دار شده است. افزودن مواد پر فیبر به‌طور معنی‌داری محتوی فیبر

بالاتری نسبت به نمونه شاهد داشت که دلیل آن را می‌توان به افزایش خصوصیات سطحی در اثر تیمار قلیایی و حرارت در فیبر باگاس نیشکر نسبت داد که سبب افزایش جذب چربی دونات شده است (Caprez *et al.*, 1986)

معنی‌داری در سطح 5% در میزان پروتئین نمونه کنترل و بهینه مشاهده نشد.

همان طوری که در جدول 4 مشاهده می‌شود از نظر ارزیاب‌ها دونات بهینه دارای پذیرش کلی مطلوب‌تری نسبت به نمونه کنترل است. از سوی دیگر، مطابق جدول 4، دونات بهینه محتوی چربی نسبتاً

جدول 4- مقایسه ویژگی‌های دونات کنترل و بهینه

نمونه	کنترل	بهینه
آهن (mg/l)	0/43±0/03 ^B	0/74±0/04 ^A
روی (mg/l)	0/20±0/15 ^B	0/31±0/10 ^A
فیبر (%)	0/70±0/42 ^B	4/29±0/37 ^A
پروتئین (%)	13/83±0/08 ^A	14/16±0/07 ^A
چربی (%)	17/45±0/02 ^A	18/64±0/01 ^A
پذیرش کلی	3/91±0/02 ^A	4/30±0/15 ^A

حروف غیرمشترک در ردیف بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 5% می‌باشد.

مغز به پوسته می‌شود. در نتیجه به مرور زمان رطوبت مغز کاهش و رطوبت پوسته افزایش می‌یابد. حضور فیبرها با توجه به ظرفیت بالای اتصال با آب باعث نرم‌تر شدن ساختار مغز نمونه بهینه نسبت به نمونه کنترلی می‌شود (Gulart *et al.*, 2012). از آنجایی که پلی‌ساکارید محلول سویا ساختاری شبیه به پکتین دارد (Nakamura *et al.*, 2003)، زمینه اتصال بین آب و گروه‌های هیدروکسیل از طریق پیوندهای هیدروژنی و عدم خروج آن طی نگهداری را فراهم کرده است.

ارزیابی اثر ماندگاری

بررسی نتایج در جدول 5 نشان می‌دهد که با افزایش ماندگاری، رطوبت فرآورده کاهش می‌یابد. رطوبت نمونه کنترل در طی روزهای اول، سوم و پنجم اختلاف معنی‌داری در سطح 5% نشان می‌دهد، در حالی‌که رطوبت نمونه بهینه در روزهای سوم و پنجم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. محتوی رطوبت مغز و پوسته در طی روزهای نگهداری دونات تغییر می‌کند. همانطور که دونات شروع به خنک شدن می‌کند، اختلاف فشار بین پوسته و ناحیه داخلی منجر به مهاجرت رطوبت از

جدول 5- مقایسه میانگین ویژگی‌های تیمارها طی روزهای نگهداری

روز نگهداری	1	3	5
رطوبت	کنترل	33/16±0/93 ^{Ab}	20/08±1/33 ^{Ca}
	بهینه	36/58±0/31 ^{Aa}	30/30±0/52 ^{Ba}
حجم مخصوص	کنترل	1/77±0/03 ^{Aa}	1/69±0/08 ^{Aa}
	بهینه	1/76±0/12 ^{Aa}	1/57±0/04 ^{Bb}
پراکسید	کنترل	0/150±0/031 ^{Ba}	0/74±0/09 ^{Aa}
	بهینه	0/16±0/01 ^{Ba}	0/70±0/22 ^{Aa}

حروف غیرمشترک کوچک و بزرگ بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در هر ردیف و ستون در سطح 5% می‌باشد.

باگاس نیشکر تا 15 درصد حجم مخصوص نان نسبت به نمونه کنترل کاهش یافت که در پژوهش حاضر معنی‌دار نبود. می‌توان نتیجه گرفت با جایگزینی فیبر باگاس با آرد گندم، شبکه گلوتن تضعیف می‌شود و خروج هوا از طریق سطح افزایش می‌یابد در نتیجه با گذشت زمان، حجم مخصوص نمونه بهینه کمتر می‌شود که با نتایج نوری و همکاران (1394) مطابقت دارد.

از سوی دیگر، حجم مخصوص نمونه کنترل در طی روزهای ماندگاری اختلاف معنی‌داری در سطح 5% نداشته است. در حالی‌که حجم مخصوص نمونه بهینه در روزهای ماندگاری کاهش یافته است که در سطح 5% معنی‌دار بوده است. همچنین تغییرات حجم نمونه کنترل و بهینه به جز روز سوم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته‌اند (جدول 5). طبق نتایج Sangnark و همکاران (2004) با افزایش سطوح فیبر

داشت که در طی ماندگاری این کاهش کاملاً مشهود است. این در حالی است که پارامتر صمغی بودن در طی روزهای ماندگاری از روند خاصی تبعیت نکرد ولی نمونه بهینه، حالت صمغی کمتری نسبت به نمونه کنترل داشت. افزودن فیبرهای رژیمی، عمر ماندگاری محصول را با به تأخیر انداختن افت رطوبت مغز و افزایش سفتی مغز، طولانی‌تر می‌کند (Lebesi and Tzia., 2011). پروتئین موجود در پلی‌ساکارید محلول سویا سبب استحکام شبکه گلوآبی می‌گردد، از طرفی توانایی واکنش با مولکول نشاسته را دارد و در نتیجه سبب به تعویق انداختن فرآیند ترورگراسیون می‌شود (Sudha et al., 2007).

همچنین جدول 5، نشان می‌دهد که میزان پروکسید نمونه کنترل و بهینه در روزهای ماندگاری افزایش یافت و اختلاف آنها در سطح 5% معنی‌دار نشد. پایین بودن نسبی مقدار پروکسید نمونه بهینه را می‌توان به خاصیت آنتی‌رادیکالی و آنتی‌اکسیدانی لیگنین موجود در فیبر باگاس نسبت داد (ابراهیم‌زاده و همکاران، 1396).

بررسی ویژگی‌های بافت در جدول 5، حاکی از آن است که مغز دونات کنترل و بهینه در طی دوره نگهداری سفت‌تر شد، در حالیکه نمونه بهینه نسبت به نمونه کنترل بافت نرم‌تری داشت. همچنین با افزایش زمان ماندگاری، چسبندگی هر دو نمونه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و دونات بهینه نسبت به نمونه کنترل چسبندگی کمتری

جدول 5- مقایسه میانگین ویژگی‌های بافتی تیمارها طی روزهای نگهداری

روز نگهداری	1	3	5
کنترل	0/871±0/024 ^{Ba}	1/468±0/270 ^{Aa}	1/552±0/151 ^{Aa}
سفتی	0/593±0/027 ^{Bb}	1/076±0/120 ^{Aa}	1/121±0/081 ^{Ab}
کنترل	0/733±0/008 ^{Aa}	0/478±0/025 ^{Bb}	0/417±0/006 ^{Cb}
چسبندگی	0/701±0/014 ^{Ab}	0/534±0/001 ^{Ba}	0/465±0/008 ^{Ca}
کنترل	0/630±0/007 ^{Aa}	0/697±0/101 ^{Aa}	0/646±0/053 ^{Aa}
صمغیت	0/416±0/012 ^{Bb}	0/574±0/066 ^{Aa}	0/520±0/030 ^{Ab}
بهینه			

حروف غیرمشترک کوچک و بزرگ بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در هر ردیف و ستون در سطح 5% می‌باشد.

می‌شود. در حالیکه پلی‌ساکارید محلول سویا تأثیر معنی‌داری بر این فاکتورها نداشت. بیشتر مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش از R^2 و R^2 (Adj) متناسب و معنی‌داری برخوردار بودند. همچنین آزمون ضعیف برازش برای پاسخ‌ها بی‌معنی و ضریب تغییرات آنها نیز مناسب بود. در نهایت نقطه بهینه برای فرمولاسیون زمانی حاصل شد که 9/09 درصد فیبر باگاس نیشکر و 0/78 درصد پلی‌ساکارید محلول سویا به فرمول اضافه و طی 2/60 دقیقه سرخ می‌شد. در ضمن نمونه بهینه نسبت به نمونه کنترل محتوی رطوبت، فیبر و عناصر معدنی آهن و روی و پذیرش کلی بیشتر و بافت نرم‌تری بود.

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج این پژوهش در خصوص اثر افزودن فیبر باگاس نیشکر و پلی‌ساکارید محلول سویا به فرمول دونات و همچنین مدت زمان سرخ کردن این فرآورده با طرح چرخش‌پذیر مرکب مرکزی نتایج نشان داد که افزایش فیبر باگاس نیشکر سبب افزایش رطوبت، سفتی، چسبندگی و صمغیت، چربی، و کاهش حجم مخصوص، میزان مؤلفه L پوسته و مغز می‌شود. از سوی دیگر افزایش دمای سرخ کردن سبب افزایش سفتی، صمغیت، محتوی چربی و کاهش میزان روشنایی پوسته

منابع

- ابراهیم‌زاده، ع.، اسماعیل‌زاده کناری، ر. و عبدالخانی، ع. 1396، بررسی خصوصیات آنتی‌رادیکالی لیگنین استخراج شده از گونه‌های گیاهی توسط روش MWL و DL. مجله علوم و صنایع غذایی، 68(14)، 37-44.
- ذوقی، آ.، خسروی دارانی، ک. و سه‌رآب وندی، س.، 1392، تولید اسید سیتریک از کاه گندم و باگاس خام نیشکر با استفاده از قارچ اسپرژیلوس نایجر به روش تخمیر در بستر جامد. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، 8(3)، 155-163.
- رجب‌زاده، ن. 1371، ارزشیابی نان‌های سنتی ایران، پژوهشکده غله و نان ایران، نشریه شماره 451، 18-24.
- علیپور، م.، کاشانی‌نژاد، م.، مقصدلو، ی. و جعفری، م.، 1388، بررسی اثر کاراگینان، دمای روغن و زمان سرخ کردن بر میزان جذب روغن در محصولات سرخ شده سیب زمینی. پژوهش‌های صنایع غذایی ایران، 15(1)، 21-27.

نوری، م.، ناصحی، ب.، سماواتی، و. و آبدانان مهدی زاده، س.، 1394. تأثیر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دونات حاوی منابع فیبر خوراکی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج. پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، 13(2)، 227-239.

یوسفی، ع.، ناصحی، ب.، برزگر، ح. 1397. بهینه‌یابی ویژگی‌های دونات غنی‌شده با پودر پالپ پرتقال. مجله پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، 7(3): 307-297.

- AACC International. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Vol 1. 10th ed. St. Paul, MN: Method
- Ajila, C. M., Leelavathi, K. And Rao, U. P. 2008. Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of cereal science*. 48(2): 319-326.
- Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E. K. and Gallagher, E. 2010. Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*. 230(3): 437-445.
- Bocchini, D. A., Oliveira, O. M. M. F., Gomes, E. and Da Silva, R., 2005, Use of sugarcane bagasse and grass hydrolysates as carbon sources for xylanase production by *Bacillus circulans* D1 in submerged fermentation. *Process Biochemistry*, 40(12), 3653-3659.
- Caprez, c., Arrigoni, E., Amadò, R., Neukom, H. 1986. Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 4 (3): 233-239.
- Chen, P., Tao, S. and Zheng, P., 2016, Efficient and repeated production of succinic acid by turning sugarcane bagasse into sugar and support. *Bioresource technology*, 211, 406-413.
- Collar, C., Andreu, P., Martinez, J. C. and Armero, E. 1999. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. *Food hydrocolloids*. 13(6): 467-475.
- de Carvalho, D. M., Sevastyanova, O., Penna, L. S., da Silva, B. P., Lindström, M. E., & Colodette, J. L., 2015, Assessment of chemical transformations in eucalyptus, sugarcane bagasse and straw during hydrothermal, dilute acid, and alkaline pretreatments. *Industrial Crops and Products*, 73, 118-126.
- Gao, Y., Xu, J., Zhang, Y., Yu, Q., Yuan, Z., & Liu, Y., 2013, Effects of different pretreatment methods on chemical composition of sugarcane bagasse and enzymatic hydrolysis. *Bioresource technology*, 144, 396-400.
- Hojjati, M., Razavi, S. H., Rezaei, K. & Gilani, K. 2011. Spray drying microencapsulation of natural canthaxanthin using soluble soybean polysaccharide as a carrier. *Food Science and Biotechnology*, 20(1): 63-69.
- Kim, J., Choi, I., Shin, W. K., & Kim, Y., 2015, Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 620-627.
- Ktenioudaki, A. and Gallagher, E., 2012, Recent advances in the development of high-fibre baked. *Trends in Food Science & Technology*, 28, 4-14.
- Laopaiboon, P., Thani, A., Leelavatcharamas, V. and Laopaiboon, L., 2010, Acid hydrolysis of sugarcane bagasse for lactic acid production. *Bioresource Technology*, 101(3), 1036-1043.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. & Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033-1047.
- Lebesi, D. M. and Tzia, C. 2011. Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes. *Food and Bioprocess Technology*. 4 (5): 710-722.
- Macagnan, F. T., dos Santos, L. R., Roberto, B. S., de Moura, F. A., Bizzani, M., & da Silva, L. P., 2015, Biological properties of apple pomace, orange bagasse and passion fruit peel as alternative sources of dietary fibre. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 6(1), 1-6.
- Mathew, S. and Abraham, T. E., 2005, Studies on the production of feruloyl esterase from cereal brains and sugar cane bagasse by microbial fermentation. *Enzyme and Microbial Technology*, 36(4), 565-570.
- Meng, X., Ragauskas, A.J., 2014, Recent advances in understanding the role of cellulose accessibility in enzymatic hydrolysis of lignocellulosic substrates. *Current Opinion in Biotechnology*, 27, 150-158.
- Nakamura, A., Takahashi, T., Yoshida, R., Maeda, H., & Corredig, M., 2004, Emulsifying properties of soybean soluble polysaccharide. *Food Hydrocolloids*, 18(5), 795-803.
- Nouri, M., Nasehi, B., Samavati, V., & Mehdizadeh, S. A., 2017, Optimizing the effects of Persian gum and carrot pomace powder for development of low-fat donut with high fibre content. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 9, 39-45.
- Rodriguez-Vazquez, R., Villanueva-Ventura, G. and Rios-Leal, E., 1992, Sugarcane bagasse pith dry pretreatment for single cell protein production. *Bioresource technology*, 39(1), 17-22.
- Rosell, C. M., Rojas, J. A. and De Barber, C. B., 2001, Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food hydrocolloids*, 15(1), 75-81.
- Rubel, I. A., Pérez, E. E., Manrique, G. D. and Genovese, D. B. 2015. Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality. *Food Structure*, 3: 21-29.
- Sales, A. and Lima, S. A., 2010, Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement, *Waste Management*, 30, 1114-1122.

- Sangnark, A., & Noomhorm, A., 2004, Effect of dietary fiber from sugarcane bagasse and sucrose ester on dough and bread properties, *LWT-Food Science and Technology*, 37(7), 697-704.
- Shantha, N. C. and Decker, E. A. 1994. Rapid, Sensitive, Iron-Based Spectrophotometric Methods for Determination of Peroxide Values of Food Lipids. *Journal of AOAC International*, 77 (2): 421-424.
- Sudha, M.L., Srivastava, A.K., Vetrmani, R. & Leelavathi, K. 2007, Fat replacement in soft dough biscuits: Its implications on dough rheology and biscuit quality. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 922-930.
- Sun, J. X., Sun, X. F., Zhao, H., & Sun, R. C., 2004, Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*, 84(2), 331-339.
- Szczerbowski, D., Pitarelo, A. P., Zandoná Filho, A., & Ramos, L. P., 2014, Sugarcane biomass for biorefineries: comparative composition of carbohydrate and non-carbohydrate components of bagasse and straw. *Carbohydrate polymers*, 114, 95-101.
- Tian, H., Zhang, Y. X., 2016, the influence of bagasse fibre and fly ash on the long-term properties of green cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 111, 237-250.
- Yuksel, F., Karaman, S., Gurbuz, M., Hayta, M., Yalcin, H., Dogan, M., & Kayacier, A., 2017, Production of deep-fried corn chips using stale bread powder: Effect of frying time, temperature and concentration. *LWT-Food Science and Technology*, 83, 235-242.

Optimization of the Formula and Process of Donut Enriched with Bagasse

M. Darapoor¹, B. Nasehi^{2,3*}, H. Barzegar³, H. Joyandeh³

Received: 2018.07.12

Accepted: 2019.04.06

Introduction: By-products have traditionally been used as animal feed and are considered agricultural waste. However, they are rich in fiber and bioactive compounds, and efforts have been made to utilize them as functional ingredients and for the enrichment of food products. On the other hand, the intake of a sufficient amount of dietary fiber can regulate the flow of intestines, prevent and treat diabetes, cardiovascular and intestinal cancers. In this regard, in recent decades, there has been a tendency to seek new sources of dietary fiber and natural antioxidants, such as agricultural byproduct that were considered. In this regard, sugar cane bagasse, which has chemical compounds such as cellulose, hemicellulose, lignin, as well as phenolic compounds, waxes and minerals. Currently, bagasse used to production Cement (Tian et al., 2016), sand and grains (Sales et al., 2010), Chipboard (Garzon-Barrero et al., 2016), enzymes (Bocchini et al., 2005), single proteins (Rodriguez et al., 1992), vanillin (Mathew & Abraham, 2005), succinic acids (Chen et al., 2016), citric acid (Zhoghi et al., 2013), lactic acid (Laopaiboon et al., 2010). Donut is the only wheat industrial product that has a lot of attractive sensory features in spite of its high fat content. Therefore, one of the goals of the researchers in recent years has been finding solutions to improve its quality by reducing the absorption of oil or increasing the health components such as fiber. Therefore, this study was conducted to investigate the possibility of production of functional donuts that enriched with bagasse.

Materials and methods: In this study, in order to optimize the formulation of donuts with two varieties of sugarcane bagasse fiber (0-25%), soybean soluble polysaccharide (0-2%) and frying time (2-5 minutes) on the physicochemical characteristics of donuts and sensory properties by using mini-tab software (version 16) and central composite rotatable design (CCRD) was investigated. The mean comparison was performed using Fisher test at 95% probability level. Bagasse were treated according to the method of Gao et al. (2013). Donuts were prepared according to the formulation by Nouri et al., 2017. Ingredients used in control donut formulation were consisted of 100 g of wheat flour (9 g/100g proteins, (Arde jonob Co., Khuzestan, Iran), 38 g of water, 9g of Shortening (Behshahr Industrial Co., Tehran, Iran), 13g of Egg, 13g of water for yeast, 6.3g of sugar, 6.3g of nonfat dried milk powder (Pegah Co., khozestan, Iran), 3g of active dried yeast (Nabmayeh, Khozestan, Iran), 1.6g of Vanilla extract (AbyazChimieEssence and Colour Co., Tehran, Iran), 1.6g of baking powder (Soheil Powder, Tehran, Iran), and 1.6g of Salt. The volume of the donuts was determined using the rapeseed displacement AACC method 10-05 (AACC, 2000). Moisture content of donuts crumb was measured using a Heraeus oven (model UT 5042, Germany) at 105 °C for 3.5 h (Kim et al., 2015). The fat content of dried donuts was determined by Soxhlet extraction with petroleum ether for 5 h (Melito & Farkas, 2012). Firmness and springiness were measured in triplicate using a TA.XT2i Texture Analyzer (Stable Micro Systems, Goldalming, UK). The donuts were evaluated for over all acceptance of based on a five-point hedonic scale. The scale of values ranged from “dislike extremely” (score 1) to “like extremely” (score 5). And lightness was evaluated with Konica Minolta colorimeter.

Results and discussion: The results showed that most of the proposed models in this study were proportional and meaningful from R^2 and R^2 (Adj). Also, the lack of fit these model were meaningless and their coefficient of variation was also appropriate. So, bagasse fiber increased moisture, hardness, cohesiveness and gumminess, fat, crust and crumb a, fiber and decreased specific volume, crust L. Increasing frying time increases hardness, cohesiveness, gumminess, and decreases crust L and moisture. Soybean soluble polysaccharide had no significant effect on these cases. According to the panelists, donuts containing bagasse fiber were harder and less chewable and had a darker color than the control sample. Response surface methodology described that donuts with optimum formulation of 9.09% bagasse fiber and 0.78% soybean soluble polysaccharide and the frying time of 2 minutes and 36 seconds would be the most desirable sample that has acceptable consumer characteristics. Investigating the optimal sample composition showed that iron and

1. M.s graduated of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

2. Department of Agricultural Engineering and Technology, Payame Noor University (PNU), Iran

3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

*(Corresponding author Nasehi.b@pnum.ac.ir)

zinc mineral elements, fiber, fat, and total acceptance were higher than the control sample. However, no significant difference was observed in the control and optimum sample protein content. Also, with increasing durability, the moisture content of the product decreases. On the other hand, the specific volume of the control sample during the days of storage did not have a significant difference at 5% level. While the optimum sample volume in the days of shelf life has decreased. There was no significant difference between the control and optimum sample peroxidase in the first and third days, while on the fifth day, both were significantly decreased. The examination of texture characteristics suggests that the donut crumb of controlled and optimized was harder during the storage period, while the optimum sample was softer than the control sample.

Key words: Sugarcane, donut, Dietary fiber, Functional

استخراج پکتین از پوست بادنجان با استفاده از مایکروویو و بررسی خصوصیات آن

سارا کرم‌زاده¹ - سارا انصاری^{2*}

تاریخ دریافت: 1397/08/15

تاریخ پذیرش: 1398/02/25

چکیده

در این پژوهش از روش سطح پاسخ و طرح باکس - بنکن برای بهینه‌سازی شرایط استخراج به کمک امواج مایکروویو پکتین حاصل از پوست بادنجان استفاده شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین استخراجی مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای مستقل مورد بررسی در این تحقیق شامل توان (360، 450 و 540 وات)، زمان (1، 2/5 و 4 دقیقه) و pH (1، 2 و 3) بودند. راندمان استخراج، درجه استریفیکاسیون، میزان گالاتکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری پکتین‌های استخراج شده به ترتیب 2/20 تا 17/16 درصد، 20/20 تا 36/23 درصد، 51/3 تا 74/7 درصد و 1/87 تا 21/64 درصد به دست آمد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش توان، افزایش زمان و کاهش pH، راندمان استخراج پکتین افزایش، درحالی‌که درجه استریفیکاسیون کاهش یافت. میزان گالاتکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری با افزایش توان تا 450 وات و زمان پرتودهی تا 3 دقیقه ابتدا سیر صعودی و سپس نزولی داشت. شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج، میزان گالاتکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری در توان 360 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1/0 بوده که در این شرایط پاسخ‌های فوق به ترتیب برابر با 18/81، 70/81 و 2/68 درصد پیش‌بینی شدند. همچنین مشاهدات نشان داد که با افزایش غلظت رفتار جریان محلول پکتین از نیوتونی به سودوپلاستیک تغییر کرد. از طرفی پایداری امولسیون پکتین استخراجی، در دمای 4 درجه بیشتر از 23 درجه سلسیوس بوده است. بر مبنای نتایج این تحقیق مایکروویو به‌عنوان یک روش نوین و با کارایی بالا برای استخراج پکتین از پوست بادنجان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پکتین، پوست بادنجان، بهینه‌سازی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی

مقدمه

ایران، 1373). بنابراین، بررسی تولید آن در داخل کشور می‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد.

پکتین می‌تواند به‌عنوان یک محصول جانبی، از منابع مختلفی مانند تفاله سیب درختی، تفاله چغندرقد، طبق گل آفتاب‌گردان و پوست مرکبات استخراج گردد. پکتین تفاله سیب درختی به علت استفاده از آنزیم‌های پکتولیتیک در حین تولید کنسانتره آب سیب و پکتین تفاله چغندرقد به دلیل وجود گروه‌های استیل و پکتین طبق گل آفتاب‌گردان درجه متوکسیلاسیون پایینی دارند، در حالی که پکتین پوست مرکبات با درجه متوکسیلاسیون بالا و قدرت تولید ژل قوی بهترین منبع استخراج پکتین می‌باشند. میزان پکتین بر اساس ماده خشک در تفاله سیب درختی، تفاله چغندرقد، طبق گل آفتاب‌گردان و تفاله مرکبات به ترتیب 20-15، 15-20، 25 و 25-30 درصد است (Mesbahi *et al.*, 2005). بادنجان با نام علمی *Solanum melongena* یکی از سبزیجات مهم خانواده *Solanaceae* می‌باشد که در سطح وسیعی در کشورهای دنیا کشت می‌شود. در سال 2017 میزان تولید جهانی

پکتین یک استر متیله شده از پلی گالاتکتورونیک اسید با اتصالات α (1→4) است که شامل زنجیره‌های 300 تا 1000 واحدی از گالاتکتورونیک اسید می‌باشد و در دیواره سلولی و تیغه میانی گیاهان قرار دارد (Yeoh *et al.*, 2008). پکتین کاربردهای زیادی در صنایع غذایی و دارویی دارد. در مواد غذایی پکتین غالباً در مربا و ژله به‌عنوان عامل تشکیل ژل و قوام‌دهنده استفاده می‌شود. همچنین در نوشیدنی‌ها، سس‌ها، شربت‌ها³، محصولات قنادی، نانوائی و غیره برای ایجاد بافت مناسب به کار می‌رود (Yan *et al.*, 2010). در سال 2018 تقاضای جهانی برای پکتین بیش از 60 هزار تن در سال بوده که اروپا با 31 هزار تن بزرگترین بازار پکتین (حدود 420 میلیون دلار) را به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2019). در ایران سالیانه حدود یک صد تن پکتین در صنایع غذایی و دارویی به مصرف می‌رسد، که همگی از خارج از کشور تامین می‌گردد و با توجه به قیمت آن در بازارهای جهانی ارزیابی نسبتاً چشم‌گیری دارد (انتشارات مرکز گمرک

100 گرم) در توان 50 وات، زمان اشعه‌دهی 30 دقیقه و pH 1/5 به دست آمد که پکتین حاصل دارای محتوای گالاکتورونیک اسید (66/08 گرم در 100 گرم) و فنول کل بالایی (96/81 میلی گرم معادل گالیک اسید در گرم پکتین) بوده و جزء پکتین‌های با درجه متوکسیل بالا طبقه‌بندی می‌شد.

بر مبنای تحقیقات انجام شده تاکنون، هیچ پژوهشی به بررسی اثر امواج مایکروویو بر راندمان استخراج پکتین و همچنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین حاصل از پوست بادنجان نپرداخته است، بنابراین هدف از این پژوهش بهینه‌سازی استخراج پکتین از تقاله ناشی از پوست بادنجان و در ادامه بررسی خصوصیات پکتین‌های استخراج شده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پوست بادنجان از کارخانه یک و یک (دشت مرغاب، خرم بید، استان فارس) به‌عنوان ضایعات کنسروسازی گرفته شد. این ضایعات پس از شستشو با آب به قطعات کوچک بریده شدند. در مرحله بعد، در آن (Shimaz Co، ایران) با دمای 65°C به مدت 24 ساعت خشک گردیدند تا به وزن ثابت برسند. با استفاده از آسیاب (فن آژما، ایران) پودر شده و با مش 20 الک گردیدند. پودر تولیدی برای مصارف بعدی در ظرف پلی‌اتیلنی و در جای خشک نگهداری شد. کلیه مواد شیمیایی، حلال‌ها و استانداردهای مصرفی از شرکت مرک آلمان با درجه خلوص تجزیه‌ای تهیه شدند.

استخراج پکتین

جهت استخراج پکتین، 5 گرم از نمونه پودر خشک شده در ارلن ریخته شده و 75 میلی‌لیتر محلول آبی اسید سیتریک در pH‌های مختلف (نسبت حجم مایع به وزن جامد (حجمی/وزنی) در تمام تیمارها ثابت و برابر با 15 به 1)، به آن اضافه شد. سپس نمونه طی مدت زمان مشخص درون مایکروویو (Daewoo، KOC-9U0 TPS، کره) با حداکثر توان 900 وات قرار گرفت (جدول 1). در مرحله بعد، محلول دو مرتبه با پارچه متقال صاف شده و برای جداسازی ذرات معلق باقیمانده، محلول حاصل در 4000 rpm به مدت 20 دقیقه سانتریفوژ (Universal 320، آلمان) شد. سپس محلول پکتین به‌وسیله اتانول 98 درصد رسوب داده شد و پس از نگهداری در دمای 7°C به مدت 18 ساعت، پکتین مرطوب حاصل، 2 مرتبه با اتانول 98 درصد شستشو داده شد و نهایتاً به‌وسیله آون در دمای 60°C تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید (Hosseini et al., 2016). سپس آزمون‌های زیر بر روی پکتین‌های استخراجی انجام گردید.

بادنجان در جهان در حدود 52/3 میلیون تن گزارش شده است که در این میان کشور ایران با تولید 654149 تن پس از چین، هند، مصر و ترکیه در مقام پنجم قرار دارد (FAO, 2017). در حین فراوری و کنسرو سازی بادنجان، کلاهدک و پوست آن جزء ضایعات بوده و دور ریخته می‌شود، درحالی که حاوی چندین ماده مغذی، اجزای سازنده و ترکیبات ارزشمند است. اگرچه میزان پکتین این ضایعات در مقایسه با میوه‌های غنی از پکتین تا حدودی کمتر است ولی با این وجود برای استخراج پکتین مناسب است. از این رو در این مطالعه، تلاش می‌شود تا از این ضایعات در جهت استخراج پکتین که ماده‌ای ارزشمند در صنایع غذایی می‌باشد، استفاده کرد.

تولید پکتین معمولاً شامل استخراج، تصفیه/تغلیظ و خشک کردن است. استفاده از یک روش مناسب برای استخراج پکتین برای به حداکثر رساندن عملکرد و کیفیت آن مهم است. شایع‌ترین روش مورد استفاده برای فرآیند استخراج پکتین شامل حرارت‌دهی مستقیم در آب اسیدی شده (روش سوکسله) است، اما به دلیل زمان طولانی استخراج و حجم بالای آب ضایعاتی این روش چندان مطلوب نیست (Yeoh et al., 2008). ناطقی و انصاری (1396) پکتین از ضایعات کلاهدک بادنجان به روش اسیدی با اسید سیتریک تحت شرایط دما (60، 75 و 90 درجه سانتی‌گراد)، زمان (50، 100 و 150 دقیقه) و pH‌های مختلف (1/5، 2/25 و 3) استخراج کردند. بر اساس نتایج به دست آمده راندمان تولید پکتین از کلاهدک از 5/87 تا 12/3 درصد متغیر بود که بالاترین راندمان برای کلاهدک بادنجان (12/3 درصد)، در شدیدترین شرایط استخراج یعنی در دمای 90 درجه سانتی‌گراد، زمان 150 دقیقه و pH برابر با 1/5 به دست آمد که درصد گالاکتورونیک اسید و درجه استری شدن برای پکتین کلاهدک در همین شرایط به ترتیب برابر با 27/90 و 15/43 بود (ناطق و انصاری، 1396). اخیراً تعدادی از روش‌های جدید استخراج به کمک مایکروویو¹، استخراج به کمک اولتراسوند²، استخراج با سیال فوق بحرانی³ و استخراج تسریع شده با حلال⁴ به‌عنوان تکنیک‌های سازگارتر با محیط زیست و کارآمدتر برای افزایش باز یافت ترکیبات ارزش از بافت‌های گیاهی توسعه یافته‌اند (Kazemi et al., 2019). در مقایسه با استخراج با سیال فوق بحرانی، استخراج به کمک مایکروویو ساده‌تر و ارزان‌تر است. استخراج به کمک مایکروویو ویژگی‌های تداخل مویری و ظرفیت جذب آب مواد گیاهی را افزایش داده که این تغییرات فرصتی برای بهبود عملکرد استخراج مولکول‌های هدف از مواد گیاهی را فراهم می‌سازند (Wang et al., 2007). اخیراً کاظمی و همکاران (2019) نیز از روش سطح پاسخ (RSM) برای بهینه‌سازی استخراج پکتین از پوست بادنجان به کمک امواج اولتراسوند استفاده کردند. بر مبنای نتایج آنها بالاترین راندمان استخراج (33/64 گرم در

3 Supercritical fluid extraction
4 Accelerated solvent extraction

1 Microwave-assisted extraction (MAE)
2 Ultrasound-assisted extraction

تیترا شد و حجم سود مصرفی به‌عنوان V_2 یادداشت گردید. درصد استری شدن با توجه به معادله زیر محاسبه شد (Mesbahi *et al.*, 2005):

$$DE (\%) = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \quad (2)$$

اندازه‌گیری خصوصیات امولسیون

در این تحقیق، از روش Simeonova و Dalev (1995) با کمی تغییر برای اندازه‌گیری فعالیت امولسیفایری² و پایداری امولسیون³ استفاده شد. بدین منظور 5 میلی‌لیتر روغن آفتاب گردان، با 5 میلی‌لیتر محلول پکتین 0/5 درصد وزنی/وزنی و 0/02 درصد سدیم آزید برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها به آن اضافه شد. در مرحله بعد نمونه‌ها با هموژنایزر (ارتعاشات صنعتی، ایران) در دور 10000rpm به مدت 4 دقیقه مخلوط شدند. سپس امولسیون ایجاد شده برای 5 دقیقه در دور 3000 rpm سانتریفوژ گردید. فعالیت امولسیونی با توجه به معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$EA (\%) = \frac{ELV}{W_v} \times 100 \quad (3)$$

در معادله بالا، EA فعالیت امولسیونی، ELV حجم لایه امولسیون شده و W_v حجم کل محلول می‌باشد.

برای اندازه‌گیری پایداری امولسیون، نمونه به مانند روش بالا تهیه و در چهار لوله سانتریفوژ 10 میلی‌لیتری ریخته شد. دو لوله برای اندازه‌گیری پایداری امولسیون در دماهای پایین، در دمای 4°C به مدت 1 و 30 روز و 2 لوله دیگر نیز در دمای 23°C برای مدت مذکور قرار گرفتند. در نهایت پایداری امولسیون با استفاده از معادله زیر به‌دست آمد:

$$ES (\%) = \frac{VE_r}{VE_i} \times 100 \quad (4)$$

EA پایداری امولسیون، VE_r حجم لایه امولسیون باقی‌مانده و VE_i حجم لایه امولسیون اولیه می‌باشد.

اندازه‌گیری ویسکوزیته

ویسکوزیته غلظت‌های مختلف محلول پکتین به‌وسیله ویسکومتر چرخشی (LVDV-II Pro, Brookfield Engineering Inc, آمریکا) در دمای 25°C اندازه‌گیری شد. برای هر آزمون حدود 20 میلی‌لیتر از نمونه به سیلندر اندازه‌گیری منتقل شده و تغییرات ویسکوزیته در برابر افزایش نرخ برش در محدوده 110-12s⁻¹ اندازه‌گیری شد. برای آنالیز رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها از مدل‌های نیوتونی و قانون توان استفاده شد (Kazemi *et al.*, 2019).

راندمان تولید پکتین

برای به‌دست آوردن راندمان تولید پکتین از فرمول زیر استفاده شد (Kazemi *et al.*, 2019):

$$100 \times (\text{ماده اولیه} / \text{پکتین خالص}) = \text{درصد راندمان تولید} \quad (1)$$

بررسی محتوای گالاتورونیک اسید

در این تحقیق برای اندازه‌گیری راندمان اسید گالاتورونیک از روش متا هیدروکسی دی‌فنیل استفاده شد (Wang *et al.*, 2007). بدین ترتیب که 0/05 گرم از نمونه پکتین استخراج شده به یک بالن حجمی 250 میلی‌لیتری منتقل شده، با آب مقطر دیونیزه به حجم رسانیده شده و برای حل شدن کامل روی همزن مغناطیسی در دمای اتاق قرار گرفت. سپس یک میلی‌لیتر از محلول پکتینی تهیه شده به 3 لوله آزمایش (دو لوله برای اندازه‌گیری جذب نمونه حاوی پکتین و یک لوله برای اندازه‌گیری جذب نمونه شاهد) غوطه‌ور در حمام آب یخ (فن آزما، ایران) به‌منظور سرد شدن اضافه گردید. بعد از سرد شدن نمونه‌ها 6 میلی‌لیتر محلول 0/0125 مولار تترابورات سدیم در اسید سولفوریک غلیظ به آنها اضافه و کاملاً مخلوط شدند. در ادامه لوله‌های آزمایش به مدت 6 دقیقه در حمام آب جوش 100°C حرارت‌دهی شده و سپس در حمام یخ سریعاً سرد شدند. 0/1 میلی‌لیتر از معرف محلول 0/15% وزنی/حجمی متاهیدروکسی دی‌فنیل به دو لوله آزمایش حاوی نمونه پکتینی اضافه شد و جذب آنها پس از گذشت 15 دقیقه با استفاده از اسپکتروفتومتر مرئی/ماورای بنفش (Unico, UV210، اسپانیا) در طول موج 520 نانومتر اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد جذب/غلظت با اندازه‌گیری جذب محلول‌های استاندارد گالاتورونیک اسید در محدوده غلظت 20 تا 100 میکروگرم بر میلی‌لیتر تهیه شد.

درجه استریفیکاسیون¹

درجه استریفیکاسیون پکتین با استفاده از روش تیتراسیون با کمی تغییر اندازه‌گیری شد. بدین منظور 0/2 گرم از نمونه پکتین خشک شده، با 2 میلی‌لیتر اتانول 98% مرطوب شد. سپس 20 میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه به آن اضافه شده و تا حل شدن کامل در دمای 40°C بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. بعد از حل شدن کامل نمونه، با سود 0/1 نرمال در حضور معرف فنل فتالین تا ظهور رنگ صورتی کمرنگ تیترا شد و حجم سود مصرف شده به‌عنوان V_1 ثبت گردید. به محلول خنثی شده در مرحله اول تیتراسیون، 10 میلی‌لیتر سود 0/1 مولار اضافه و به مدت 2 ساعت بر روی همزن مغناطیسی به‌هم زده شد تا پکتین صابونی شود. سپس 10 میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید 0/1 مولار به آن اضافه و اسید اضافی مجدداً با سود 0/1 نرمال تا رسیدن به همان نقطه پایانی

3 Emulsion stability (ES)

1 Degree of estrification (DE)

2 Emulsifying activity (EA)

طیف FT-IR

در این مطالعه، طیف FT-IR پکتین با تفکیک پذیری 4 cm^{-1} به وسیله اسپکتروفوتومتر FT-IR پرکین المر با استفاده از صفحه پتاسیم برماید در دامنه $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ رسم گردید (Kazemi *et al.*, 2019).

پرتودهی و pH) در سه سطح، با سه تکرار در مرکز (برای محاسبه خطا)، بر پاسخ‌های راندمان تولید پکتین، درجه استریفیکاسیون، میزان گالاکتورنیک اسید و فعالیت امولسیفایری مورد بررسی قرار گرفت (جدول 1).

نتایج و بحث

17 تیمار جهت استخراج پکتین تحت شرایط تعیین شده در طرح باکس - بنکن به روش سطح پاسخ به کار گرفته شد که جدول 1 شرایط هر تیمار استخراجی و نیز مقادیر اندازه‌گیری شده هر پاسخ (راندمان، درجه استریفیکاسیون، میزان گالاکتورنیک اسید و فعالیت امولسیفایری) تحت شرایط استخراج به کار رفته را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق، برای آنالیز داده‌ها و دستیابی به شرایط بهینه تولید پکتین از پوست بادنجان، از نرم افزار Minitab 16، روش سطح پاسخ، طرح باکس - بنکن که هم اثر فاکتورها به صورت تک و هم برهمکنش میان فاکتورها را با کاهش تعداد آزمایش‌های تجربی نشان می‌دهد، استفاده شد. در این تحقیق، اثر سه متغیر (توان میکروویو، زمان

جدول 1- سطوح متغیرها (زمان، pH و توان میکروویو) و پاسخ‌های مربوط به استخراج پکتین از پوست بادنجان

تیمارها	متغیرهای مستقل			پاسخ‌های اندازه‌گیری شده			
	توان (W)	زمان (min)	pH	راندمان تولید (%)	درجه استریفیکاسیون (%)	گالاکتورنیک اسید (%)	فعالیت امولسیفایری (%)
1	360	1	2	5/94	21/38	51/30	1/50
2	540	1	2	6/16	20/20	57/60	3/00
3	360	4	2	9/90	36/23	65/70	4/50
4	540	4	2	12/98	26/14	57/60	6/00
5	360	2/5	1	8/80	29/70	68/40	7/50
6	540	2/5	1	10/56	25/54	66/10	9/00
7	360	2/5	3	2/20	29/70	58/90	10/50
8	540	2/5	3	5/94	23/76	67/00	12/00
9	450	1	1	5/28	22/57	63/00	13/50
10	450	4	1	17/16	31/02	73/80	15/00
11	450	1	3	6/60	21/60	62/10	16/50
12	450	4	3	6/16	30/88	70/20	18/00
13	450	2/5	2	5/72	27/32	72/40	19/50
14	450	2/5	2	6/82	28/51	74/70	21/00
15	450	2/5	2	6/60	28/51	72/40	22/50
16	450	2/5	2	6/27	27/39	72/90	24/00
17	450	2/5	2	6/49	27/75	73/30	21/20

درصد بوده است، که این نشان‌دهنده برآزش خوب مدل پیش‌بینی شده با داده‌های تجربی می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس برای درجه استریفیکاسیون نیز مانند راندمان نشان از بالا بودن ضریب تبیین (99/00 درصد) و ضریب تبیین تعدیل شده (97/72 درصد) داشته است، که نشان‌دهنده برآزش خوب مدل پیش‌بینی شده می‌باشد.

نتایج مربوط به آنالیز آماری در جدول 2 و 3 آورده شده است. نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی مربوط به این پاسخ‌ها در سطح اطمینان 5 درصد معنی‌دار بوده و همچنین آزمون عدم برآزش برای این پارامترها بی‌معنی بوده است. همچنین ضریب تبیین برای راندمان استخراج برابر با 99/12 درصد و همچنین ضریب تبیین تعدیل شده برابر با 98/00

جدول 2- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای راندمان استخراج و درجه استریفیکاسیون

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
(الف) راندمان					
رگرسیون	9	187/51	20/83	87/98	0/00
خطی	3	125/99	0/29	1/01	0/44
درجه دوم	3	20/54	6/85	28/91	0/00
اثرات متقابل	3	40/97	13/66	57/67	0/00
خطای باقیمانده	5	1/66	0/24		
عدم برازش	3	0/96	0/32	1/82	0/28
خطای خالص	2	0/70	0/17		
کل	14	189/17			
ضریب تبیین			0/99		
ضریب تبیین تعدیل شده			0/98		
(ب) درجه استریفیکاسیون					
رگرسیون	9	273/54	30/39	77/06	0/00
خطی	3	243/60	13/38	33/94	0/00
درجه دوم	3	9/13	3/04	7/72	0/01
اثرات متقابل	3	20/81	6/94	17/59	0/00
خطای باقیمانده	5	2/76	0/39		
عدم برازش	3	1/39	0/47	1/37	0/37
خطای خالص	2	1/36	0/34		
کل	14	276/30			
ضریب تبیین			0/99		
ضریب تبیین تعدیل شده			0/98		

$$DE (\%) = -7.95 + 0.09X_1 + 13.21X_2 + 1.90X_3 - 0.01X_1^2 - 0.57X_2^2 - 0.1X_3^2 - 0.01X_1X_2 - 0.005X_1X_3 + 0.14X_2X_3 \quad (2)$$

$$GA (\%) = -170.65 + 0.97X_1 + 30.2X_2 - 15.88X_3 - 0.001X_1^2 - 2.87X_2^2 + 0.59X_3^2 - 0.02X_1X_2 + 0.03X_1X_3 - 0.45X_2X_3 \quad (3)$$

$$EA (\%) = -301.90 + 1.34X_1 + 13.96X_2 + 1.28X_3 - 0.001X_1^2 - 2.64X_2^2 + 0.05X_3^2 + 0.000X_1X_2 - 0.000X_1X_3 - 0.000X_2X_3 \quad (4)$$

در این معادلات X_1 : توان، X_2 : زمان و X_3 : pH می باشد.

میزان ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل شده برای میزان گالاکتورونیک اسید به ترتیب برابر با 98/00 درصد و 95/43 درصد بوده است. این اعداد برای میزان امولسیفایری نیز به ترتیب برابر با 98/48 درصد و 96/53 درصد بوده است که نشان دهنده برازش خوب مدل پیش بینی شده بوده است.

معادلات درجه دو پیش بینی شده برای پارامترهای مختلف که نوعی روابط ریاضی جهت دستیابی به شرایط بهینه با برقراری ارتباط بین متغیرها می باشد، به صورت کد شده در زیر آمده است:

$$Yield (\%) = 14.68 - 0.04X_1 - 1.2X_2 - 1.05X_3 + 0.00X_1^2 + 0.95X_2^2 + 0.27X_3^2 + 0.01X_1X_2 + 0.01X_1X_3 - 2.05X_2X_3 \quad (1)$$

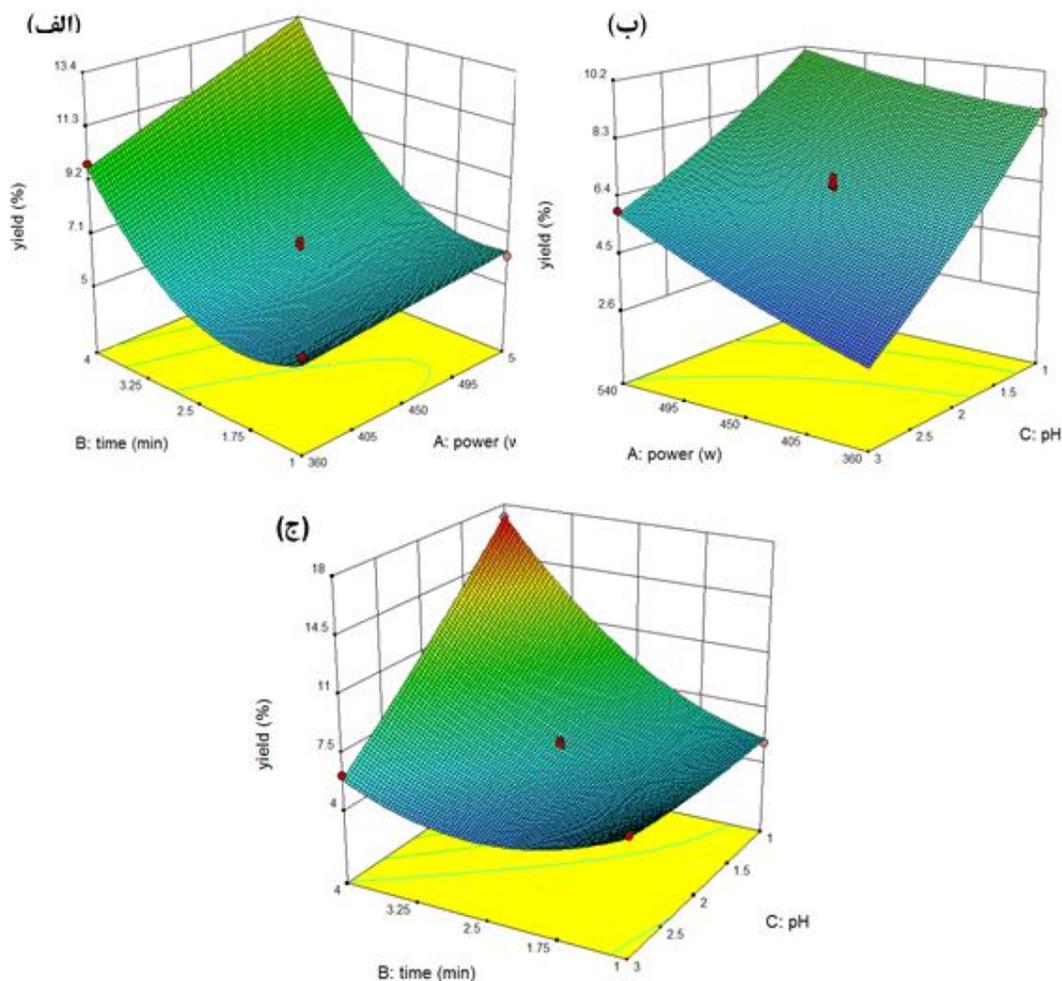
جدول 3- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای میزان گالاکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
(الف) میزان گالاکتورونیک اسید					
رگرسیون	9	758/50	84/27	38/15	0/00
خطی	3	162/06	171/43	77/60	0/00
درجه دوم	3	515/73	171/91	77/82	0/00
اثرات متقابل	3	80/70	26/90	12/18	0/00
خطای باقیمانده	5	15/46	2/20		
عدم برازش	3	11/85	3/95	4/38	0/09
خطای خالص	2	3/61	0/90		
کل	14	773/96			
ضریب تبیین		0/98			
ضریب تبیین تعدیل شده		0/95			
(ب) فعالیت امولسیفایری					
رگرسیون	9	819/58	91/06	50/52	0/00
خطی	3	32/62	196/65	109/06	0/00
درجه دوم		786/96	262/32	145/54	0/00
اثرات متقابل		0/00	0/00	0/00	1/00
خطای باقیمانده		12/61	1/80		
عدم برازش		1/12	0/37	0/13	0/94
خطای خالص	2	11/49	2/87		
کل	14	832/20			
ضریب تبیین		0/98			
ضریب تبیین تعدیل شده		0/96			

اثر شرایط استخراج بر راندمان تولید پکتین

همانطور که در جدول 1 نشان داده شد، راندمان استخراج پکتین از پوست بادنجان در دامنه 2/20 تا 17/16 درصد متغیر بوده است. بیشترین راندمان استخراج مربوط به آزمایش شماره 10 (توان 450 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1) و کمترین آن مربوط به آزمایش شماره 7 (توان 360 وات، زمان 2/5 دقیقه و pH برابر با 3) بوده است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌شود توان میکروویو یکی از مهمترین فاکتورهایی است که روی راندمان استخراج موثر بوده و سبب افزایش آن می‌شود. افزایش انرژی پرتودهی میکروویو می‌تواند سبب افزایش نفوذ حلال استخراج به داخل ماده جامد و افزایش فعل و انفعالات مولکول‌ها با میدان مغناطیسی شده و در نتیجه سبب افزایش انتشار پکتین از ماده جامد به حلال می‌شود (Yan *et al.*, 2010). طبق مطالعات ناطقی و انصاری (1396) بازده استخراج پکتین از کلاهدک بادنجان به روش مرسوم بین 0/87 تا 12/30 درصد متغیر بود که در مقایسه با تحقیق حاضر بسیار پایین بود. طبق گزارشات آنها افزایش

دما از 60 به 90 درجه سانتی‌گراد، زمان استخراج از 50 به 150 دقیقه و کاهش pH از 3 به 1/5 اثر معنی دار در افزایش بازده پکتین داشت ($p < 0/05$). کاظمی و همکاران (2019) نیز در تحقیق خود نتایج مشابهی را در زمینه استخراج پکتین از پوست سبز پسته با استفاده از روش میکروویو گزارش نمودند و انرژی پرتودهی را به‌عنوان عاملی مهم در استخراج پکتین عنوان نمودند. زمان پرتودهی یکی دیگر از فاکتورهای موثر بر راندمان استخراج پکتین می‌باشد. افزایش زمان پرتودهی تاثیر مثبت روی راندمان استخراج می‌گذارد (شکل 1). باقریان و همکاران (2011) به نتایج مشابه در زمینه استخراج پکتین از گریپ فروت و Li و همکاران (2012) نیز به نتایج مشابه در زمینه استخراج پکتین از پالپ چغندر قند دست یافتند. این مقوله ممکن است مربوط به افزایش نفوذ حلال به داخل ماتریکس ماده جامد در اثر افزایش زمان و در نتیجه ایجاد فرصت کافی برای حل شدن پکتین در حلال استخراج باشد (Samavati, 2013).



شکل 1- اثر متغیرهای مستقل توان/ زمان (الف)، توان/ pH (ب) و زمان/ pH (ج) بر راندمان استخراج پکتین پوست بادنجان

اثر شرایط استخراج بر درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی

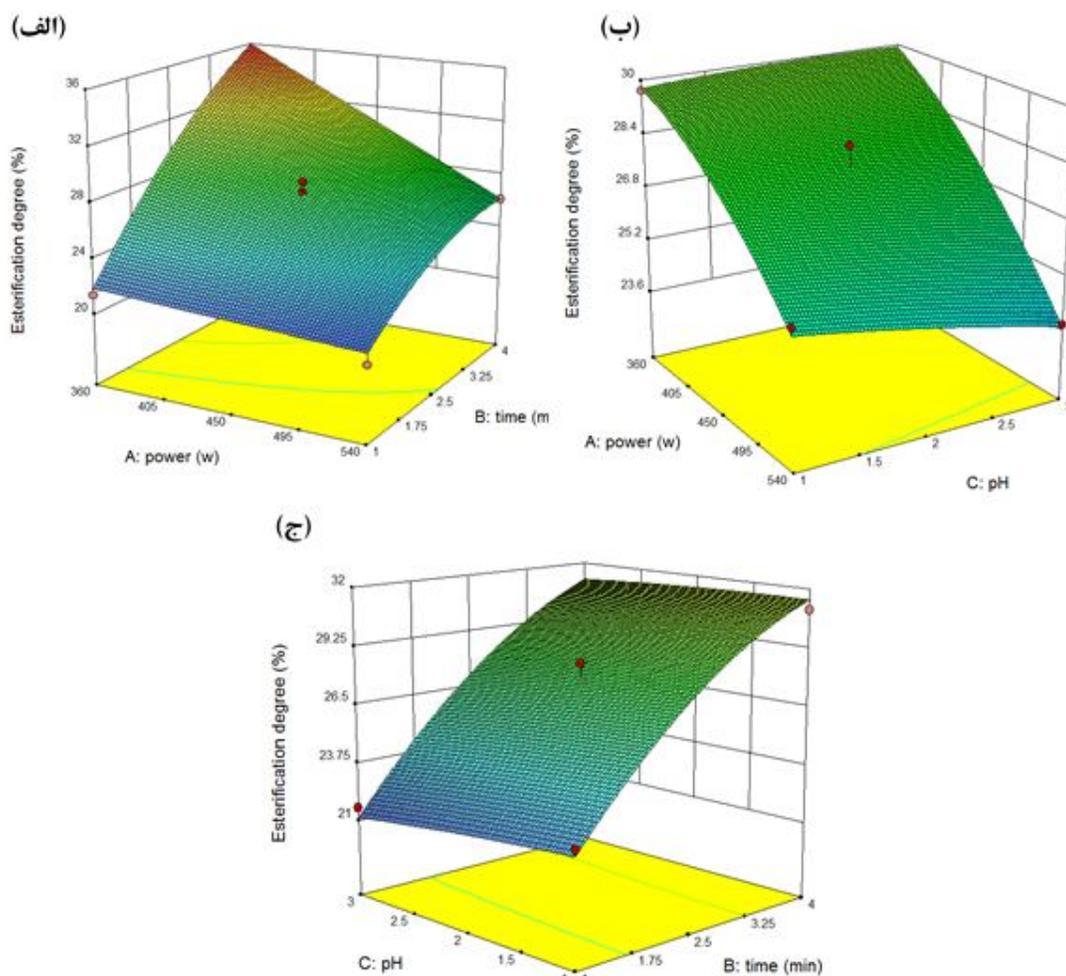
همانطور که در جدول 1 مشاهده می‌شوند درجه استریفیکاسیون در این پژوهش بین 20/20 و 36/23 درصد متغیر بوده است. بیشترین درجه استریفیکاسیون مربوط به تیمار شماره 3 (توان 360 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 2) و کمترین آن مربوط به تیمار شماره 2 (توان 540 وات، زمان 1 دقیقه و pH برابر با 2) بوده است. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که بین درجه استریفیکاسیون و راندمان استخراج رابطه مستقیمی وجود ندارد، زیرا بالاترین راندمان استخراج مربوط به شرایط بهینه استخراج بوده درحالیکه درجه استریفیکاسیون در این شرایط در بیشترین حد نبوده است. بنابر نتایج این تحقیق پکتین به دست آمده از پوست بادنجان را می‌توان جزوی از پکتین‌ها با درجه استری پایین طبقه‌بندی کرد. پکتین با درجات استری متفاوت دارای کاربردهای

pH یکی از فاکتورهای کلیدی موثر بر راندمان استخراج می‌باشد و انتخاب pH مناسب برای رسیدن به حداکثر راندمان امری ضروری است. شکل 1 به وضوح نشان می‌دهد که راندمان استخراج با کاهش pH افزایش می‌یابد. حلال استخراج با اسیدیته بالا سبب هیدرولیز پکتین‌های غیرمحلول و تبدیل آن‌ها به پکتین محلول شده و در نتیجه راندمان استخراج افزایش می‌یابد (Maran et al., 2013; Ma et al., 2013). همراستا با نتایج مطالعه حاضر، ناطقی و انصاری (1396) نیز گزارش نمودند که بازده استخراج پکتین از ضایعات کلاهدک بادنجان با کاهش pH افزایش یافته است. این محققین عنوان نمودند که این پدیده می‌تواند مربوط به تاثیر اسید بر دیواره سلولی محصول اولیه و آزادسازی پکتین در محلول استخراج شده باشد. بنابراین هرچه اسید قوی‌تر باشد، تخریب دیواره سلولی بیشتر می‌گردد و در نتیجه آزادسازی و تولید پکتین نیز بیشتر خواهد بود.

پرتودهی بالا باشد. طبق نتایج باقریان و همکاران (2011) درجه استریفیکاسیون با افزایش زمان حرارت دهی مایکروویو از 2 به 8 دقیقه افزایش یافت. ناطقی و انصاری (1396) در رابطه با استخراج پکتین از ضایعات کلاهدک بادنجان عنوان کردند که کاهش pH، افزایش دما و زمان استخراج علی‌رغم افزایش راندمان، درجه استریفیکاسیون پکتین را به میزان قابل توجهی کاهش داد که این کاهش را به داستریفیکاسیون زنجیره پلی گالاتورونیک در شرایط سخت نسبت دادند (ناطقی و انصاری، 1396).

متفاوتی می‌باشند. از این رو، پکتین به‌دست آمده از این محصول، به دلیل پایین بودن درجه استری آن، برای تولید محصولات با شکر کم مثل ژله‌ها و مرباهای کم‌کالری بسیار مناسب است (Wai *et al.*, 2009).

اثر زمان پرتودهی، توان مایکروویو و pH روی درجه استریفیکاسیون در شکل 2 آورده شده است. درجه استریفیکاسیون با افزایش زمان پرتودهی افزایش می‌یابد اما درجه استریفیکاسیون با افزایش pH کاهش یافته است. این کاهش می‌تواند به علت تجزیه پیوندهای استری پکتین در شرایط سخت هیدرولیز اسیدی و زمان



شکل 2- اثر متغیرهای مستقل توان / زمان (الف)، توان / pH (ب) و زمان / pH (ج) بر درجه استریفیکاسیون پکتین پوست بادنجان

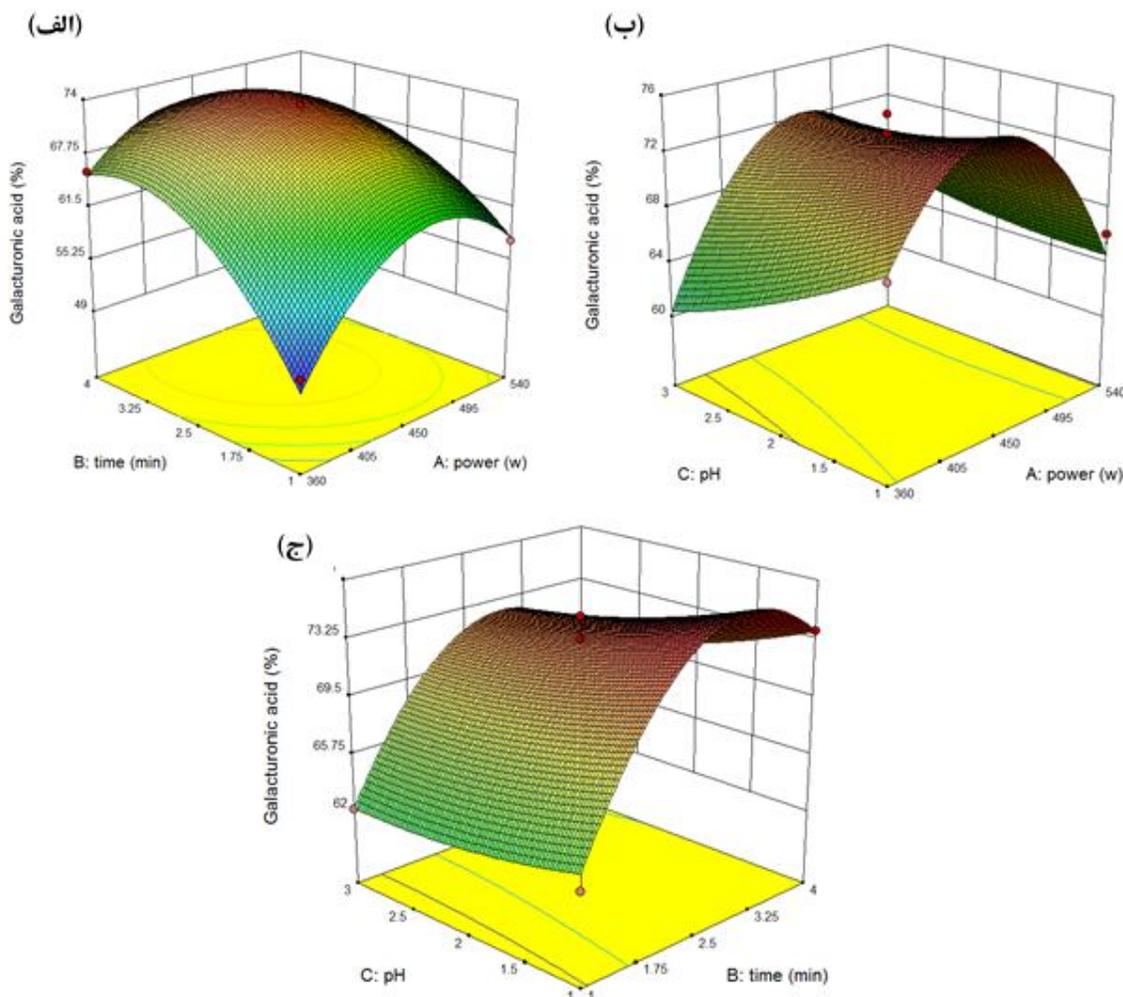
استخراج می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود درجه استریفیکاسیون با افزایش توان مایکروویو به‌طوری معنی‌داری کاهش می‌یابد که این احتمالاً مربوط به هیدرولیز شدن پیوندهای استری در اثر افزایش توان و دما می‌باشد (Hosseini *et al.*, 2016). هم‌راستا با نتایج مطالعه

این نتیجه در گزارشات بسیاری از محققین دیگر مشاهده شده است که به بررسی اثر فاکتورهای مختلف بر درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی از گریپ فروت و چغندر قند پرداختند (Bagherian *et al.*, 2011). توان مایکروویو یکی دیگر از فاکتورهای موثر روی راندمان

اثر شرایط استخراج بر درصد گالاکتورونیک اسید
 با توجه به اینکه گالاکتورونیک اسید ترکیب اصلی پکتین است میزان آن نشان‌دهنده درجه خلوص پکتین استخراجی است. همه انواع پکتین با محتوای بالای گالاکتورونیک اسید توصیف می‌شوند و با توجه به نظر سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) و اتحادیه اروپا (EU) پکتین مورد استفاده به‌عنوان افزودنی غذایی و یا به هدف دارویی باید حداقل 65 درصد گالاکتورونیک اسید داشته باشد (Bagherian *et al.*, 2011).

حاضر، کاظمی و همکاران (2019) نیز عنوان نمودند که با افزایش توان مایکروویو، درجه استریفیکاسیون پکتین استخراج شده از پوست سبز پسته کاهش یافته است.

به‌طور کلی پکتین به‌دست آمده از آزمایشاتی که در آن‌ها از شرایط بسیار سخت (توان بالا، زمان طولانی و pH بسیار پایین) برای استخراج استفاده شده است دارای درجه استریفیکاسیون پایین‌تری می‌باشند، زیرا شرایط سخت استخراج سبب افزایش استرزدایی زنجیره‌های پکتین می‌شود (Mort *et al.*, 1993).



شکل 3- اثر متغیرهای مستقل توان/ زمان (الف)، توان/ pH (ب) و زمان/ pH (ج) بر میزان گالاکتورونیک اسید پکتین پوست بادنجان

رفته برای استخراج پکتین پوست بادنجان میزان گالاکتورونیک اسید بیشتر از حد توصیه شده دارند. همچنین این مقدار مشابه با میزان گالاکتورونیک اسید گزارش شده برای پکتین استخراجی از پوست بادنجان به روش اولتراسوند (66/08 گرم در 100 گرم) بود (Kazemi *et al.*, 2019). در تحقیقی که توسط ناطقی و انصاری (1396) انجام

میزان گالاکتورونیک اسید در این پژوهش بین 51/3 و 74/7 درصد متغیر بوده است (جدول 1). با در نظر گرفتن آنکه بالاترین راندمان استخراج (17/16 درصد) مربوط به تیمار 10 می‌باشد، بیشترین میزان گالاکتورونیک اسید نیز مربوط به همین تیمار (توان 450 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1) بوده است. بر این اساس غالب تیمارهای به‌کار

موجب تسریع استخراج پکتین با بازدهی بالاتر و خلوص بالاتر (درصد) گالاتورونیک اسید بالاتر) می‌شود

اثر شرایط استخراج بر خصوصیات امولسیفایری

همانطور که در جدول 1 مشاهده می‌شود میزان فعالیت امولسیفایری پکتین در این پژوهش بین 1/87 و 21/64 درصد متغیر بوده است. به عبارت دیگر بیشترین فعالیت امولسیفایری مربوط نقطه مرکزی (توان 450 وات، زمان 2/5 دقیقه و pH برابر با 2) و کمترین آن مربوط به آزمایش شماره 1 (توان 360 وات، زمان 1 دقیقه و pH برابر با 2) بوده است. نتایج بررسی اثر شرایط استخراج روی میزان فعالیت امولسیفایری در شکل 4 نشان داده شده است. با افزایش توان تا 450 وات میزان این پارامترها افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش زمان پرتودهی تا حدود 3 دقیقه، میزان این پارامترها افزایش و سپس کاهش یافت. pH نیز رابطه عکس با میزان این پارامترها داشت. همانطور که در شکل مذکور نشان داده شده است در ابتدا افزایش توان و زمان مصرفی سبب افزایش فاکتور مذکور شده است که این می‌تواند به دلیل باز شدن ساختار پکتین و قرار گرفتن گروه‌های هیدروفوب در سطح می باشد که سبب افزایش فعالیت امولسیفایری شده است (Jafari *et al.*, 2017). اما با ادامه در افزایش فاکتورهای مذکور میزان این پارامتر کاهش یافته است که این می‌تواند به دلیل تخریب ساختار پکتین به دلیل شرایط سخت استخراج باشد (Hosseini *et al.*, 2016).

بهینه‌سازی

همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است، شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج، میزان گالاتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری در توان 360 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1/0 بوده که راندمان استخراج در این شرایط برابر با 16/17، میزان گالاتورونیک اسید برابر با 70/81، میزان فعالیت امولسیفایری برابر با 2/68 درصد و درجه استریفیکاسیون برابر با 35/31 پیش‌بینی شده‌اند. آزمون تائیدی که شامل بررسی میزان این پارامترها در شرایط بهینه پیش‌بینی شده با سه تکرار بود، با توجه به نزدیک بودن میزان مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نشان از صحت میزان اعداد پیش‌بینی شده داشت.

پایداری امولسیون

یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های استفاده شده برای بهبود پایداری امولسیون‌های روغن در آب کاربرد امولسیفایرها است. پکتین نیز یکی از امولسیفایرهای مورد استفاده برای پایدار کردن امولسیون‌های روغن در آب می‌باشد. بنابراین در مطالعه حاضر پایداری امولسیون حاصل از روغن و محلول 0/5 درصدی پکتین استخراج شده در شرایط بهینه در دماهای 4 و 23 درجه سلسیوس به ترتیب بعد از 1

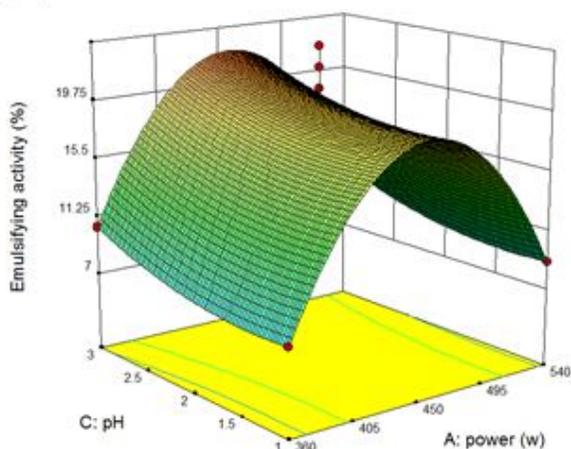
شد، میزان گالاتورونیک اسید پکتین استخراجی از کلاهدک بادنجان به روش مرسوم در حدود 27/9-39/84 درصد گزارش شد، که این مقدار پایین تر از میزان بدست آمده در تحقیق حاضر است. طبق گزارشات این محققین، در pH و زمان های متفاوت استخراج با افزایش دما از 75 به 90 درجه سانتی‌گراد و pH از 1/5 به 2/25 درصد گالاتورونیک اسید به شکل معنی‌داری افزایش یافت و زمان اثر معنی‌داری بر روی آن نداشت. این محققین یکی از دلایل افزایش خلوص (میزان گالاتورونیک اسید) در pH برابر 2/25 و دمای 90 درجه سانتی‌گراد راهیدرولیز اساسی قندهای خنثی پکتین در pH بیشتر از 2 و دماهای بالا عنوان کردند. همچنین کاهش خلوص پکتین در pH برابر 1/5 و دماهای بالاتر استخراج احتمالاً به دلیل هیدرولیز جزئی پکتین با وزن مولکولی بالا به زنجیره پکتینی با وزن مولکولی پایین در حضور اسیدی قوی بود که این مولکول‌ها ممکن است با افزایش الکل رسوب ندهند. در تحقیقی دیگر Yapo و همکاران (2007)، و Ma و همکاران (2013) درصد گالاتورونیک اسید پکتین استخراج شده از تفاله چغندر را به ترتیب در دامنه 3/76- 2/35 درصد و 8/77- 2/60 درصد گزارش کردند و بیان داشتند مهمترین عامل بر میزان گالاتورونیک اسید، نوع اسید و pH بوده، به طوری که با کاهش pH و قویتر شدن اسید مورد استفاده درصد گالاتورونیک اسید افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توان بیان داشت که پکتین استخراج شده از پوست بادنجان در شرایط بهینه، دارای خلوص مطلوبی می باشد.

شکل 3 تاثیر شرایط استخراج به کمک مایکروویو را بر روی محتوای گالاتورونیک اسید نشان می‌دهد. افزایش توان تا 450 وات محتوای گالاتورونیک اسید پکتین افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش زمان پرتودهی تا حدود 3 دقیقه نیز میزان این پارامتر افزایش و پس از آن کاهش یافت. pH نیز رابطه عکس با میزان این پارامترها داشت. با توجه به شکل مذکور می‌توان بیان داشت که با افزایش توان و زمان مصرفی تا حدی و همچنین کاهش pH میزان گالاتورونیک اسید افزایش یافته است که این احتمالاً مربوط به افزایش راندمان تولید پکتین بوده که رابطه مستقیمی با میزان گالاتورونیک اسید داشته است. همچنین با ادامه افزایش در توان و زمان مصرفی میزان گالاتورونیک اسید کاهش یافته است که این می‌تواند مربوط به تخریب ساختار پکتین به دلیل افزایش توان و زمان مصرفی بوده است که منجر به کاهش میزان این فاکتور شده است. حسینی و همکاران (2016) و باقریان و همکاران (2011) در تحقیقی اثر شرایط استخراج به کمک مایکروویو را روی میزان گالاتورونیک اسید پکتین پوست نارنج و گریپ فروت مورد بررسی قرار دادند که به نتایج مشابهی دست یافتند. در کل بنا بر نتایج تحقیق حاضر استفاده از روش مایکروویو

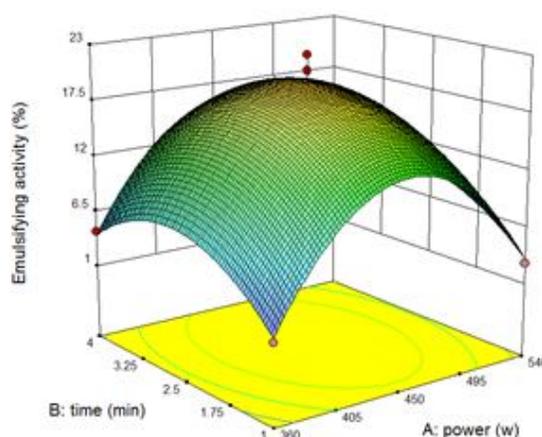
قطرات امولسیون و کاهش پایداری می‌گردد. این نتایج مشابه گزارشات Yapo و همکاران (2007) می‌باشد که به بررسی خصوصیات امولسیونی پکتین استخراج شده از چغندر قند پرداختند. به علاوه همانطور که نتایج نشان می‌دهند در طی یک ماه نگهداری نیز پایداری امولسیون‌ها تقریباً ثابت مانده است.

روز برابر با 77/8 و 66/7 درصد، و بعد از 30 روز برابر با 77/6 و 66/1 درصد بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان داشت که پایداری امولسیون‌ها در هر دو دمای مورد آزمایش مطلوب بوده، اما امولسیون‌ها در دمای 4 درجه سلسیوس مقداری پایدارترند. به نظر می‌رسد که در دماهای بالاتر، حرکات براونی بیشتری در بین قطرات امولسیون برقرار می‌گردد که این پدیده موجب افزایش به هم پیوستگی

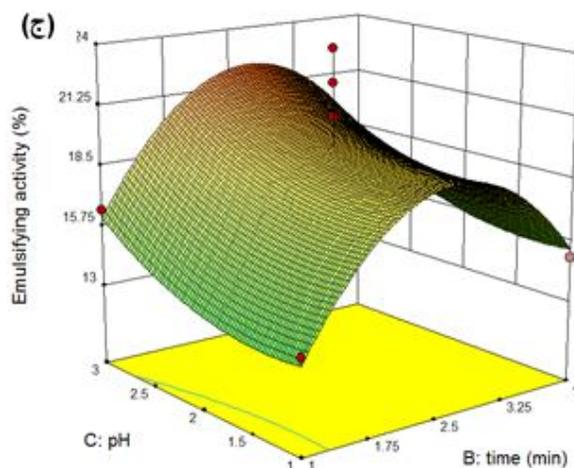
(الف)



(ب)



(ج)



شکل 4- اثر متغیرهای مستقل توان / زمان (الف)، توان / pH (ب) و زمان / pH (ج) بر میزان فعالیت امولسیفایری پکتین پوست بادنجان

50 دور بر دقیقه به ترتیب برابر با 1/59، 2/6 و 4/55 سانتی پواز می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش غلظت، میزان ویسکوزیته محلول‌ها نیز افزایش یافته است. شاخص‌های (اندیس جریان و ضریب قوام) حاصل از برازش داده‌های اندازه‌گیری ویسکوزیته بر مدل‌های مختلف رئولوژیکی (نیوتنی و توان) برای پکتین حاصل از

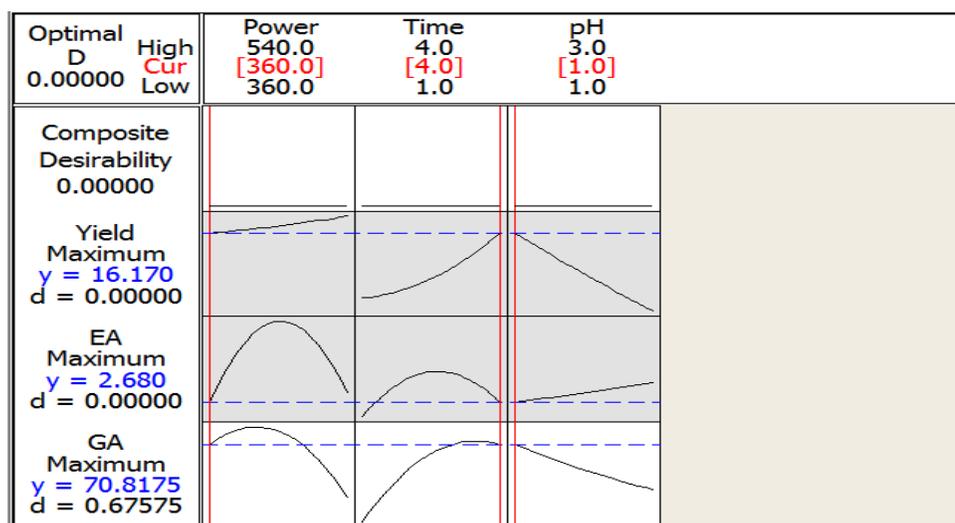
ویسکوزیته

رفتار جریان پکتین استخراج شده در شرایط بهینه در غلظت‌های 0/1، 0/2 و 1 درصد در نرخ‌های برش مختلف در شکل 6 نشان داده شده است که بیانگر وجود رفتار نیوتنی برای پکتین استخراج شده می‌باشد. میزان ویسکوزیته محلول‌های مختلف پکتین استخراجی در شرایط بهینه در غلظت‌های 0/1، 0/2، 1 و 2% وزنی - حجمی در سرعت

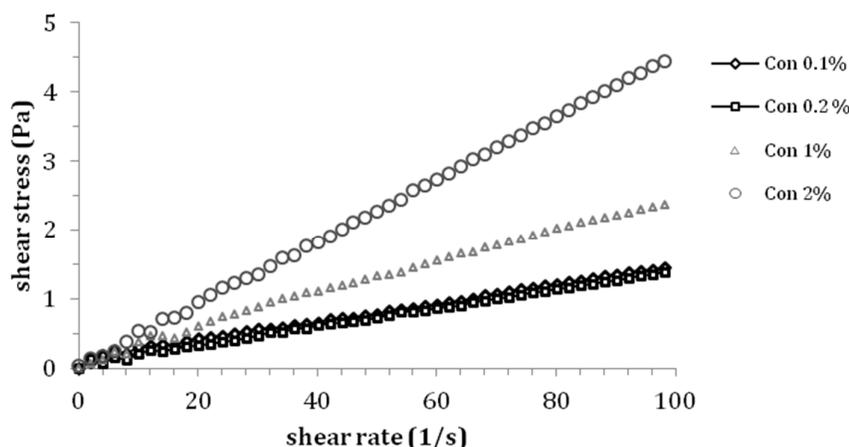
هویج در غلظت 1 درصد حجمی/ وزنی رفتار رقیق‌شونده با برش (سودوپلاستیک) داشته است. در تحقیقی دیگر حسینی و همکاران (2016) اعلام داشتند پکتین استخراجی از پوست نارنج در غلظت‌های کم‌تر از 1 درصد حجمی/ وزنی رفتار نیوتنی داشته است و با افزایش غلظت پکتین رفتار رقیق‌شونده با برش (سودوپلاستیک) غالب گردیده است. ناطقی و انصاری (1396) نیز در رابطه با پکتین استخراجی از کلاهدک بادنجان به کمک حرارت‌دهی در آون در شرایط اسیدی به نتایج مشابهی در زمینه ویسکوزیته دست یافتند (ناطق و انصاری، 1396).

پوست بادنجان در شرایط بهینه استخراج در جدول 4 نشان داده شده است. همانطور که در این جدول مشخص است.

محققین رفتار معمول و رایج برای محلول پکتینی را رفتار رقیق‌شونده با برش¹ دانسته‌اند و این مساله را به جهت‌گیری زنجیره‌های زنجیره‌های پلیمری آن در جهت جریان مرتبط می‌دانند، بنابراین این ماده مقاومت کمتری نسبت به جریان دارد. همچنین در مطالعات مختلف بیان شده که ویسکوزیته پکتین به غلظت گالاکتورونیک اسید در آن نیز، وابسته بوده و با افزایش غلظت آن، ویسکوزیته ایجاد شده توسط پکتین نیز افزایش می‌یابد (Panouille *et al.*, 2006). جعفری و همکاران (2017) نیز گزارش کردند پکتین استخراج شده از تفاله



شکل 5- شرایط بهینه برای راندمان استخراج، میزان گالاکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری پکتین استخراجی از پوست بادنجان



شکل 6- تنش برشی در برابر نرخ برش محلول‌های پکتین در غلظت‌های مختلف

جدول 4- شاخص‌های حاصل از برازش داده‌های اندازه‌گیری ویسکوزیته بر مدل‌های مختلف رئولوژیکی برای پکتین حاصل از پوست بادنجان در شرایط بهینه استخراج*.

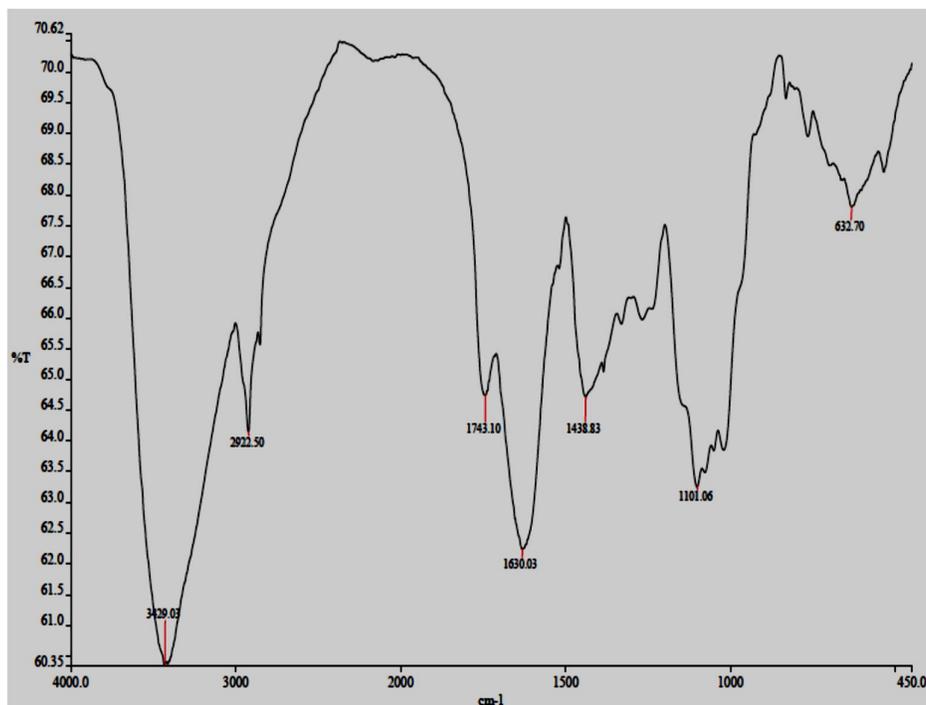
غلظت (w/v%)	مدل	N	k (Pa s ⁿ)	R ² (%)
0/1	نیوتنی	1	0/013	99/4
	توان	0/96	0/015	98/1
0/2	نیوتنی	1	0/013	99/7
	توان	0/99	0/017	99/2
1/0	نیوتنی	1	0/023	99/5
	توان	0/98	0/042	99/1
2/0	نیوتنی	1	0/045	99/9
	توان	0/95	0/054	99/3

*N برابر اندیس رفتار جریان، k برابر شاخص قوام و R² برابر ضریب تبیین در معادله قانون توان می‌باشند.

گروه‌های CH₃، CH₂، و CH₃ است (Santos *et al.*, 2013). به همین ترتیب، پیک 1743 مربوط به ارتعاشات O-CH₃ می‌باشد. گروه‌های کربوکسیلات دارای دو پیک هستند: (1) ارتعاشات کششی نامقارن در 1630 بر سانتی‌متر، (2) ارتعاشات کششی متقارن ضعیف‌تر در 1438 بر سانتی‌متر. به طور کلی به مجموع پیک‌های ناحیه بین 1200 و 800 منطقه اثر انگشت گویند که یک ناحیه منحصر به فرد بوده (Hosseini *et al.*, 2016) و تفسیر باندهای آن عموماً دشوار است.

بررسی طیف FTIR

یکی از راه‌های شناسایی ساختار پکتین استفاده از طیف FTIR است. طیف حاصل از اسپکتروسکوپی مادون قرمز فوری به مربوط به نمونه پکتین استخراجی از پوست بادنجان در شرایط بهینه در شکل 7 نشان داده شده است. ناحیه جذبی قوی بین 3300-3500 بر سانتی‌متر مربوط به گروه‌های OH موجود در قسمت‌های مختلف ساختار پلیمر گالاکتورونیک اسید است. پیک موجود در عدد موجی 2922 بر سانتی‌متر مربوط به ارتعاشات C-H می‌باشد که شامل ارتعاشات خمشی و کششی



شکل 7- طیف FTIR پکتین حاصل از پوست بادنجان در شرایط استخراج بهینه

نتیجه‌گیری

بهینه پیش بینی شده با سه تکرار بوده است نشان داد که راندمان استخراج در این شرایط برابر $0/23 \pm 16/08$ ، درجه اسرئیفیکاسیون برابر با $0/30 \pm 35/10$ ، میزان گالاتکتورنیک اسید برابر با $0/50 \pm 70/29$ درصد و میزان فعالیت امولسیفایری برابر با $0/12 \pm 2/40$ درصد بوده اند. بنابراین نزدیک بودن میزان مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده نشان از صحت میزان اعداد پیش‌بینی شده دارد. پکتین استخراج در شرایط بهینه خاصیت افزایش ویسکوزیته را دارا بوده و همچنین خصوصیات پایداری امولسیون خوبی را از خود نشان داد. در کل این مطالعه نشان داد که می‌توان از روش مایکروویو به‌عنوان یک روش نوین و با کارایی بالا برای استخراج پکتین از ضایعات مواد غذایی استفاده نمود.

در این پژوهش از روش استخراج به کمک امواج مایکروویو برای تولید پکتین از پوست بادنجان به‌عنوان یک منبع جدید استفاده شد. سپس خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و کاربردی پکتین استخراجی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج، درجه اسرئیفیکاسیون، میزان گالاتکتورنیک اسید و فعالیت امولسیفایری در توان 360 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1/0 بوده که راندمان استخراج در این شرایط برابر با 16/17، درجه اسرئیفیکاسیون برابر با 35/31، میزان گالاتکتورنیک اسید برابر با 70/81 و میزان فعالیت امولسیفایری برابر با 2/68 درصد پیش‌بینی شده اند. آزمون تأییدیه، که شامل بررسی میزان این پارامترها در شرایط

منابع

- ابراهیم‌پور، ن.، پیغمبردوست، س. ه. و آزاد مرد دمیرچی، ص.، 1389، تاثیر افزودن پکتین، گوار و کاراگینان بر روی ویژگی‌های کیفی نان حجیم بدون گلوتن، مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد 3، شماره 2، ص 86-98.
- انتشارات مرکز گمرک ایران، 1373، آمارنامه‌ی واردات و صادرات ایران، مرکز گمرک ایران، تهران.
- ناطق، ل. و انصاری، س.، 1396، استخراج و بررسی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی پکتین استخراجی از ضایعات کلاهدک بادنجان، فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره 5، شماره 2.
- Anonymous. 19 February 2019. Pectin – A global market overview [press release]. Available at: <http://www.industry-experts.com/verticals/food-and-beverage/pectin-a-global-market-overview>.
- Bagherian, H., Zokaee Ashtiani, F., Fouladitajar, A., & Mohtashamy, M., 2011, Comparisons between conventional, microwave-and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(11), 1237–1243.
- Dalev, P. G., & Simeonova, L. S., 1995, Emulsifying properties of protein–pectin complexes and their use in oil-containing foodstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68(2), 203-206.
- FAO, 2017. Statistical Database. Available from: <<http://www.fao.org>>. Retrieved 2019-04-03
- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M. S., 2016b, Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 140, 59–65.
- Jafari, F., Khodaiyan, F., Kiani, H., & Hosseini, S. S., 2017, Pectin from carrot pomace: Optimization of extraction and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1315–1322.
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., Labbafi, M., Hosseini, S. S., & Hojjati, M., 2019, Pistachio green hull pectin: Optimization of microwave-assisted extraction and evaluation of its physicochemical, structural and functional properties. *Food Chemistry*, 271, 663-672.
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., & Hosseini, S.S., 2019, Eggplant peel as a high potential source of high methylated pectin: Ultrasonic extraction optimization and characterization, *LWT - Food Science and Technology* (in press).
- Li, D., Jia, X., Wei, Z., & Liu, Z., 2012, Box–Behnken experimental design for investigation of microwave-assisted extracted sugar beet pulp pectin. *Carbohydrate Polymers*, 88(1), 342–346.
- Ma, S., Yu, S., Zheng, X., Wang, X., Bao, Q.D., & Guo, X., 2013, Extraction, characterization and spontaneous emulsifying properties of pectin from sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 750–3.
- Maran, J.P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R., 2013, Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 703–709.
- Mesbahi, G.; Jamalian, J., & Farahnaky, A., 2005, A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems. *Food Hydrocolloids*, 19(4), 731–738.
- Mort, A.J., Qiu, F., & Maness, N.O., 1993, Determination of the pattern of methyl esterification in pectin: distribution of contiguous non esterified residues. *Carbohydrate Research*, 247, 21–35.
- Panouillé, M., Thibault, J. F., & Bonnin, E., 2006, Cellulase and protease preparations can extract pectins from various plant byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23), 8926-8935.
- Samavati, V., 2013, Polysaccharide extraction from *Abelmoschus esculentus*: Optimization by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 588–597.

- Santos, J. D. G., Espeleta, A. F., Branco, A., & de Assis, S. A., 2013, Aqueous extraction of pectin from sisal waste. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1997-2001.
- Wai, W.W., Alkarkhi, A.F.M., & Easa, A.M., 2009, Optimization of pectin extraction from durian rind (*Durio zibethinus*) using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 74(8), C637–C641.
- Wang, S., Chen, F., Wu, J., Wang, Z., Liao, X., & Hu, X., 2007, Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 693-700.
- Yan, M.M., Liu, W., Fu, Y.J., Zu, Y.G., Chen, C.Y., & Luo, M., 2010, Optimisation of the microwave-assisted extraction process for four main astragalosides in *Radix Astragali*. *Food Chemistry*, 119(4), 1663–1670.
- Yapo, B. M., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M., 2007, Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*, 100(4), 1356-1364.
- Yeoh, S., Zhang, S., Shi, J., Langrish, T. A. G., 2008, A comparison of different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels. *Chemical Engineering Communications*, 195:5, 511-520,

Pectin extraction from eggplant peel using microwave and evaluation of its properties

S. Karamzadeh¹, S. Ansari^{2*}

Received: 2018.11.06

Accepted: 2019.05.15

Introduction: Pectin is a complex mixture of polysaccharides in the primary cell wall of plants which is a polymer of α -galacturonic acid, to which neutral sugar is connected to form aside chain. Pectin is a natural food additive used extensively in the food industry as thickener, texturizer, emulsifier, stabilizer and gelling agent. In 2018, the world market demand for pectin was in excess of 60,000 tons and Europe was estimated to have the largest market with 31,000 tons (valued about US\$420). In Iran, about one hundred tons of pectin is consumed annually in the food and pharmaceutical industries, all of which are supplied from abroad, and due to its price in the world market is of considerable magnitude. Therefore, the study of its production within the country could be of great importance. During processing and canning of eggplant, its cap and skin are discarded as waste which can be considered as a valuable ingredient in the food industry. The main objective of this study was to develop an MAE (Microwave assisted extraction) of pectin from eggplant peel and investigate the effect of process variables (microwave power, irradiation time and pH) and the response (extraction yield, degree of esterification, galacturonic acid content and emulsifying activity); and to obtain optimum conditions for maximum extraction yield of pectin from eggplant peel. The response surface methodology (RSM) using Box-Behnken design was employed in this study.

Material and methods: Eggplant peels were provided by Yek-o-Yek factory as an unwanted by-product. Then, the peels were divided into small pieces and dried in hot air oven at 65 °C until it attains constant weight. The peels were then grinded and passed through a 40-mesh sieve to obtain powdered sample. The independent variables examined were microwave power (360–450–540 W), irradiation time (1–2.5–4 min) and solution pH (1–2–3). MAE of pectin was performed in an ordinary household microwave oven with a total of 17 treatments according to RSM. About 5 g of dried eggplant peel powder was weighed and placed into a 250 ml beaker, 75 ml distilled water (the liquid-solid ratio 15:1 v/w) containing different pH values was added and exposed to microwave radiation at different powers for the selected irradiation times. After microwave heating, the mixture in the beaker was allowed to be cooled down and filtered using filter paper (Whatman no-1). The filtered extract was centrifuged and the supernatant was precipitated with an equal volume of 98% (v/v) ethanol. The coagulated pectin mass was washed with 98% (v/v) ethanol for two times and dried in oven at 60 °C until it attains constant weight. The pectin extraction yield was calculated by dividing the weight of dried pectin to the weight of dried eggplant peel powder. Galacturonic acid content of pectins was determined using the meta-hydroxydiphenyl method. The esterification degree of the pectins was determined by the titrimetric method with minor modifications. The emulsifying activity (EA) of the eggplant peel pectins were analyzed according to the method by Dalev & Simeonova (1995). Optimum extraction conditions to achieve maximum extraction efficiency, degree of esterification, galacturonic acid content and emulsifying activity were determined. Then, the stability of the oil-based emulsion prepared by mixing 0.5% w/w solution of pectin extracted in optimal conditions and corn oil, were examined at 4 and 23 °C. In addition, the behavior of pectin extracted under optimal conditions (at concentrations of 0.1, 0.2, 1 and 2%) and its spectra using a Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) were investigated.

Results and discussion: The results indicated that the extraction efficiency, esterification degree, the amount of galacturonic acid, and the emulsifying activity of the pectins extracted were 2.20- 17.16%, 20.20- 36.13%, 51.3- 74.7%, and 1.87- 21.64%, respectively. With increasing microwave power, irradiation time and decrease of solution pH the extraction efficiency of pectin extracted increased, while esterification degree decreased. The amount of galacturonic acid and emulsifying activity showed an upward trend up to microwave power of 450 watts and the irradiation time of 3 minutes after which demonstrated a downward trend. The optimum conditions for reach to the maximum extraction yield, galacturonic acid content and emulsifying activity were in microwave power of 360 W, irradiation time of 4 min and pH of 1 that at these conditions, the extraction yield of 16.17, galacturonic acid content of 70.81 and emulsifying activity of 2.68 were predicted. Also, these observations indicated that with increase in concentration, the flow behavior of pectin

1 and 2. M.Sc. Graduated student and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Branch of Kazerun, Kazerun.

(*Corresponding Author Email: ansari.fse@gmail.com or ansari@kau.ac.ir)

solutions was changed from Newtonian to pseudo-plastic. In addition the stability of pectin-stabilized emulsion at 4°C was more than 23°C. In general, this study showed that the microwave method could be used as a novel and high-performance method for extracting pectin from eggplant peel.

Keywords: Pectin, Eggplant peel, Optimization, Physicochemical properties.

اثر شستشوی گوشت چرخ‌شده ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) در

حضور پراکسید هیدروژن بر ویژگی‌های رئولوژیکی سوریمی تهیه شده

نرجس بادفر¹ - سید علی جعفرپور^{2*} - مهدی عبدالهی³

تاریخ دریافت: 1397/03/06

تاریخ پذیرش: 1398/02/25

چکیده

در این پژوهش از ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) جهت تولید سوریمی استفاده شد و اثر پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، دفعات شستشو و نسبت آب به گوشت در چهار تیمار (یکبار شستشو، 1:3، 3%؛ یکبار شستشو، 1:3، 2%؛ دوبار شستشو، 1:2، 1%؛ سه‌بار شستشو، 1:2، 1%) بر ویژگی‌های رئولوژیکی سوریمی مطالعه شد. طبق نتایج، نمودارهای آزمون‌های رئولوژیکی روبش فرانسی، روبش تنشی و روبش دمایی از روند نسبتاً یکسانی برخوردار بودند. طی فرآیند تشکیل ژل بر اثر حرارت در تمامی تیمارها، کم‌ترین مقدار G' (مدول ذخیره) بین 50 تا 52 درجه سانتی‌گراد ثبت شد. سپس با افزایش دما از 52 تا 62 درجه سانتی‌گراد منحنی G' (مدول ذخیره) روند افزایشی داشته و از دمای 62 تا 80 درجه سانتی‌گراد منحنی روند نسبتاً یکنواخت داشت. تغییرات در نمودار G'' روند مشابهی با G' نشان داد که این تغییرات منطبق با الگوی نمودار زاویه فازی تأخیری بود. در آزمون خزش-بازیابی، کم‌ترین و بیش‌ترین کرنش به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه 5 (1% H_2O_2 ، 1:2، دو بار شستشو) بود. در مرحله بازیافت و پس از طی مدت زمان 300 ثانیه کرنش ایجاد شده در هیچکدام از نمونه‌ها به حالت اولیه خود نرسید که بدین معنی است که در مواد ویسکوالاستیک بازیافت تنش اعمال شده به‌صورت نسبی بوده و بخشی از ساختار دیگر قابل بازیافت نیست. نتیجه‌گیری کلی این که حضور H_2O_2 ، طی فرآیند شستشوی گوشت چرخ‌شده، فاقد اثر منفی معنی‌دار بر ویژگی‌های رئولوژیکی سوریمی تهیه شده بود.

واژه‌های کلیدی: کپور نقره‌ای، پراکسید هیدروژن، ویژگی‌های رئولوژیکی

مقدمه

یافته است و در پی صید بیش از حد ماهی پولاک آلاسکا (*Gadus chalcogrammus*) و استفاده از آن به‌عنوان منبع اصلی جهت تولید سوریمی در صنعت، تعدادی از ماهیان کم‌مصرف در تولید این محصول استفاده می‌شوند (Jiang et al., 2000). از این میان سوریمی تولید شده از گونه‌های پرورشی مانند کپور و گربه‌ماهیان (*Pangasius*) نقش مهمی را در پاسخ‌گویی به نیاز بازار جهانی ایفا می‌کنند (Park, 2013). در میان گونه‌های پرورشی، کپور ماهیان بزرگ‌ترین و ارزان‌ترین بیومس غذایی از آبزیان در جهان هستند و با تولید 4967739 تن در سال 2014، یکی از مهم‌ترین گونه‌های ماهی‌های آب شیرین در جهان می‌باشد و به تدریج به‌عنوان یک جایگزین بالقوه برای ماهی‌های دریایی در فرآوری سوریمی در نظر گرفته می‌شوند (FAO, 2016). از آنجایی که تقاضا برای کیفیت بالای سوریمی در حال افزایش است، ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی، جهت به‌دست آوردن اطلاعات بسیاری در رابطه با ویژگی‌های بافتی سوریمی و کامابوکو روشی مفید می‌باشد. خصوصیات بافتی و رئولوژیکی، از خواص کیفی مواد غذایی هستند و در انتخاب و بازاریابی آن‌ها نقش مهمی دارند و در بعضی از مواد غذایی، این

سوریمی (گوشت چرخ‌شده ماهی شامل پروتئین‌های میوفیبریل) یک ماده کاربردی اصلی در محصولات دریایی تقلیدی است (مانند بازوی خرچنگ) و به علت خواص ژلی منحصر به فرد خود ارزشمند است. همانطور که تقاضا برای غذاهای سالم غنی از پروتئین و کم‌چرب افزایش می‌یابد تقاضا برای سوریمی افزایش یافته است (Muriel-Galet et al., Jafarpour and Gorczyca, 2008). همچنین، مصرف آن در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه رو به افزایش است (Endoo and Yongsawatdigul, 2015). علاوه بر این، تقاضا برای کیفیت بالای سوریمی نیز افزایش

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، فرآوری محصولات شیلاتی، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

2- دانشیار، فرآوری محصولات شیلاتی، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

3- پژوهشگر، گروه علوم غذایی و تغذیه، دانشگاه چالمرز سوئد.

* - نویسنده مسئول: (Email: a.jafarpour@sanru.ac.ir)

آب‌دوست مانند شیر، هیدروکلوئید سقر و ترکیبی از شکر، جاذب‌های سطحی³ و چربی؛ اما به کارگیری پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در جهت بهبود رنگ گوشت ماهی بیش‌تر مورد توجه بوده است (جعفرپور و همکاران، 1388). پراکسید هیدروژن یک اکسیدان قوی است که به صورت گسترده در پردازش غذاهای دریایی به‌عنوان عامل سفیدکننده به کار گرفته می‌شود (Kołodziejaska *et al.*, 1999, Thanonkaew *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای، جعفرپور و همکاران (1388)، اثر تیمار پراکسید هیدروژن و pH را بر روی کیفیت رنگ و ریزساختار بافت فیله ماهی کپور معمولی ماده و ژل سوریمی تهیه‌شده از آن مورد بررسی قرار دادند. Shan و همکاران (2010) پژوهشی با موضوع بهینه‌سازی استفاده از پراکسید هیدروژن در فرآیند شستشوی گوشت ماهی کپور معمولی به روش سطح پاسخ (RSM) انجام دادند. با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که مطالعه بر اثرات پراکسید هیدروژن روی خصوصیات رئولوژیک سوریمی از گستردگی برخوردار نبوده، لذا هدف از انجام این پژوهش تعیین شرایط بهینه تهیه سوریمی با به‌کارگیری از پراکسید هیدروژن در غلظت‌های پایین (1، 2 و 3%) و بهبود خواص رئولوژیک ژل سوریمی با استفاده از پراکسید هیدروژن و فاکتورهای تعداد دفعات شستشو (یک، دو و سه بار) و نسبت حجم آب به گوشت (1:2 و 1:3) بود.

مواد و روش‌ها

ماهی کپور نقره‌ای تازه از بازار ماهی ساری خریداری شد و سپس به آزمایشگاه فرآوری گروه شیلات دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل گردید.

پراکسید هیدروژن (H_2O_2) با غلظت 35 درصد (Dr. Mojalali Chemical Laboratories، ایران) خریداری شد.

آماده‌سازی سوریمی

جهت آماده‌سازی خمیر سوریمی، ماهی‌ها بعد از منتقل شدن به آزمایشگاه با آب سرد شستشو شدند در ادامه اعمال سرزنی و تخلیه امعاء و احشاء انجام شد و مجدداً با آب سرد شستشو داده و ماهی‌ها فیله شدند و فرآیند پوست‌کنی انجام گرفت و استخوان‌های آن به‌صورت دستی حذف شد. سپس گوشت آن با استفاده از چرخ گوشت با منفذ 3 میلی‌متر چرخ گردید. گوشت چرخ‌شده با آب سرد (8 درجه سانتی‌گراد) به مدت 5 دقیقه شسته شد. نسبت گوشت چرخ شده به آب براساس فاکتور نسبت گوشت:آب (W/V) متفاوت بود (1:2 و 1:3). عمل شستن گوشت چرخ‌شده بر اساس فاکتور تعداد دفعات شستشو از یک الی سه مرتبه تکرار شد و به‌منظور خروج آب جذب‌شده توسط پروتئین‌های میوفیبریل، در مرحله آخر شستشو مقدار

ویژگی‌ها مهم‌ترین خواص ظاهری و حسی فرآورده را تشکیل می‌دهند (قنبرزاده، 1392). در دهه‌های اخیر، پژوهشگران صنایع غذایی بر روش‌ها و محصولات می‌توانند خواص تکنولوژیکی و عملکردی ماکرومولکول‌های مواد غذایی را تغییر بدهند و قابلیت‌های کیفی و حسی و تغذیه‌ای محصولات را ارتقا بدهند، تمرکز کرده‌اند (اشرفی و همکاران، 1397). رئولوژی علمی است که با تغییر شکل و جریان مواد ارتباط دارد. بیش‌تر آزمون‌های رئولوژیکی با استفاده از یک نیروی خاص روی ماده و اندازه‌گیری جریان و یا تغییر شکل ایجاد شده در مواد انجام می‌شوند. خواص رئولوژیک یک ماده با تجزیه و تحلیل روابط بین نیروی به‌کارگرفته و جریان یا تغییر شکل حاصل بررسی می‌شوند (McClements, 2005). آزمون‌های رئولوژیکی خصوصیات دینامیکی را در قالب شاخص‌های مدول ذخیره یا الاستیسیته (G')، مدول افت یا گرانروی (G'') و زاویه فازی ($\tan \delta$) توصیف و بررسی می‌کنند. پژوهشگران بسیاری در گذشته از ارزیابی رئولوژیکی جهت ارزیابی رفتار دینامیکی پروتئین‌ها استفاده کردند. هم‌چنین، پارامترهای رئولوژیکی در درک مکانیسم تغییر حالت سوریمی از حالت سول به ژل بسیار مفیدند (Jafarpour and Gorczyca, 2009). بنابراین اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی معمولاً روشی است که به‌منظور بررسی تغییر حالت بافت از حالت سول به ژل و توصیف ویژگی‌های ویسکوالاستیک شبکه ژل استفاده می‌گردد. رئولوژی روشی مفید و مؤثر در تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماده است که با ژل‌سازی آن در ارتباط بوده و در نهایت موضوع پایه‌ای برای بررسی ویژگی‌های بافتی می‌باشد (Hamann and MacDonald, 1992). مشکل موجود در به‌کارگیری منابع ماهیان آب‌های شیرین جهت تهیه سوریمی، محدودیت بازار آن‌ها به دلیل طعم، بو و رنگ نامطلوب و ایجاد ژل ضعیف‌تر نسبت به گونه‌های دریایی می‌باشد (Nopianti *et al.*, 2011). یکی از عوامل اصلی ایجاد رنگ نامطلوب در سوریمی ماهیان آب‌های شیرین مربوط به قرمزتر بودن رنگ عضلات آن‌ها نسبت به عضلات گونه‌های ماهیان دریایی می‌باشد که این مسئله به‌طور قابل ملاحظه‌ای سبب پایین آوردن پارامتر L^* به‌عنوان شاخص رنگ روشن¹ در عضله به دلیل تراکم نسبتاً بالای پروتئین‌های هم² در خون و عضلات تیره است، خصوصیات کیفی مانند رنگ، بافت و ایجاد ژل از عوامل مهم برای مقبولیت نهایی محصولات بر پایه سوریمی توسط مصرف‌کنندگان می‌باشد (Nopianti *et al.*, 2011). فعالیت‌های پژوهشی زیادی جهت بهبود یافتن کیفیت رنگ فیله ماهیان مختلف انجام شده است. برای نمونه استفاده از عوامل گیاهی که در ساختار پایه خود دارای عامل چربی هستند و کلوئیدهای

1 Lightness
2 Heme

پراکسید هیدروژن طی مراحل شستشوی گوشت چرخ‌شده) منجر شد، تیمارهای ذکر شده به‌عنوان تیمار بهینه انتخاب گردند.

نتایج و بحث

آزمون روبش تنش

در آزمون روبش تنش، محدوده تنش (0/01-1000 پاسکال) و فرکانس 1 هرتز در دمای 10 درجه سانتی‌گراد صورت گرفت (شکل 1). این آزمون با استفاده از خمیر سوریمی دارای 2% نمک و بدون پراکسید هیدروژن انجام شد تا محدوده خطی تنش مورد نیاز جهت اعمال در آزمون روبش دمایی مشخص شود. با توجه به شکل 1، مدول ذخیره (G') بالاتر از مدول افت (G'') قرار دارد که این موضوع نشان‌دهنده این است که خمیر سوریمی ماهیت ویسکوالاستیک دارد. و بازه عددی تنش بین 10 تا 120 پاسکال در محدوده خطی ویسکوالاستیک قرار دارد که از این بین با توجه به منابع و پژوهش‌های قبلی (Jafarpour and Gorczyca, 2009) تنش 100 پاسکال به‌عنوان تنش مورد نظر در آزمون روبش دمایی در نظر گرفته شد. با اعمال بیش‌تر تنش و با گذشتن آن از مرز 500 پاسکال مدول‌های ذخیره و افت به‌ترتیب به سمت پایین و بالا منحرف شدند که این امر به دلیل از هم گسیختگی باندهای پروتئینی در شبکه ژل خمیر سوریمی است (Jafarpour and Gorczyca, 2009, Ferris et al., 2009, Yoon et al., 2004).

آزمون روبش فرکانسی

به‌منظور اعمال آزمون روبش دمایی به دو مؤلفه تنش و فرکانس نیاز می‌باشد. جهت تعیین محدوده خطی ویسکوالاستیک، آزمون فرکانس در محدوده 0/1 تا 10 هرتز و تنش 100 پاسکال در دمای 10 درجه سانتی‌گراد انجام شد (شکل 2). همانطور که در شکل 2 مشاهده می‌شود شاخص مدول ذخیره مجدداً در بالای گراف مدول افت قرار گرفته است. این امر نشان‌دهنده ماهیت ویسکوالاستیک خمیر سوریمی مورد استفاده می‌باشد. ژل‌های قوی دارای G' بیش‌تر از G'' و بدون وابستگی مدول‌های دینامیکی به فرکانس هستند (Ferris et al., 2009). در ابتدا دو شاخص مدول ذخیره و افت به سمت بالا متمایل شده و بازه خطی را نشان دادند و به عبارتی مدول‌های G' و G'' مقداری وابستگی به فرکانس داشتند و با افزایش فرکانس، این مدول‌ها افزایش یافتند که میزان عددی آن بین 0/3 تا 3 هرتز است. مجدداً با توجه به مرور منابع و پژوهش‌های قبلی صورت گرفته در رابطه با ژل سوریمی مقدار عددی فرکانس 1 هرتز به‌عنوان فرکانس قابل استفاده جهت انجام آزمون روبش دمایی انتخاب گردید (Jafarpour and Gorczyca, 2009, Ferris et al., 2009, Yoon et al., 2004).

0/3 درصد نمک طعام به مخلوط آب و گوشت اضافه شد. در مورد فاکتور پراکسید هیدروژن در غلظت‌های 1، 2 و 3%، به‌منظور بهبود رنگ گوشت چرخ‌شده در مرحله اول شستشو اعمال گردید. در انتها گوشت چرخ‌شده شسته و با استفاده از پارچه نظیف با چشمه 1 میلی‌متر فیلتر شد. خمیر سوریمی تهیه شده با استفاده از مولینکس به مدت 2 دقیقه همراه با نمک طعام (2 درصد) مخلوط شد. دمای خمیر در تمامی مراحل زیر 15 درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. در حین چرخ‌کردن مقداری آب و یخ به مخلوط اضافه گردید تا علاوه بر تنظیم دمای خمیر سوریمی میزان رطوبت نیز در حد 80 درصد نگاه داشته شود (Jafarpour and Gorczyca, 2009).

رفتارهای رئولوژیکی

آزمون‌های روبش تنشی، روبش فرکانسی و روبش دما و آزمون خزش و بازیابی بر روی نمونه خمیر سوریمی جهت بررسی اثر پراکسید هیدروژن، دفعات مختلف شستشو و نسبت حجم آب به گوشت صورت گرفت. این آزمون‌ها توسط دستگاه رئومتر (MCR-301, Anton Paar- Germany) تنشی کنترلی مجهز به صفحه پارالل (25 میلی‌متر و گپ 1 میلی‌متر) استفاده شد. در این خصوص رفتار مدول‌های ویسکوالاستیک تیمارهای زیر، مورد بررسی قرار گرفت:

C: تیمار شاهد؛

S₂: تیمار یکبار شستشو، نسبت آب: گوشت 1:3، غلظت 3%

H₂O₂

S₄: تیمار یکبار شستشو، نسبت آب: گوشت 1:3، غلظت 2%

H₂O₂

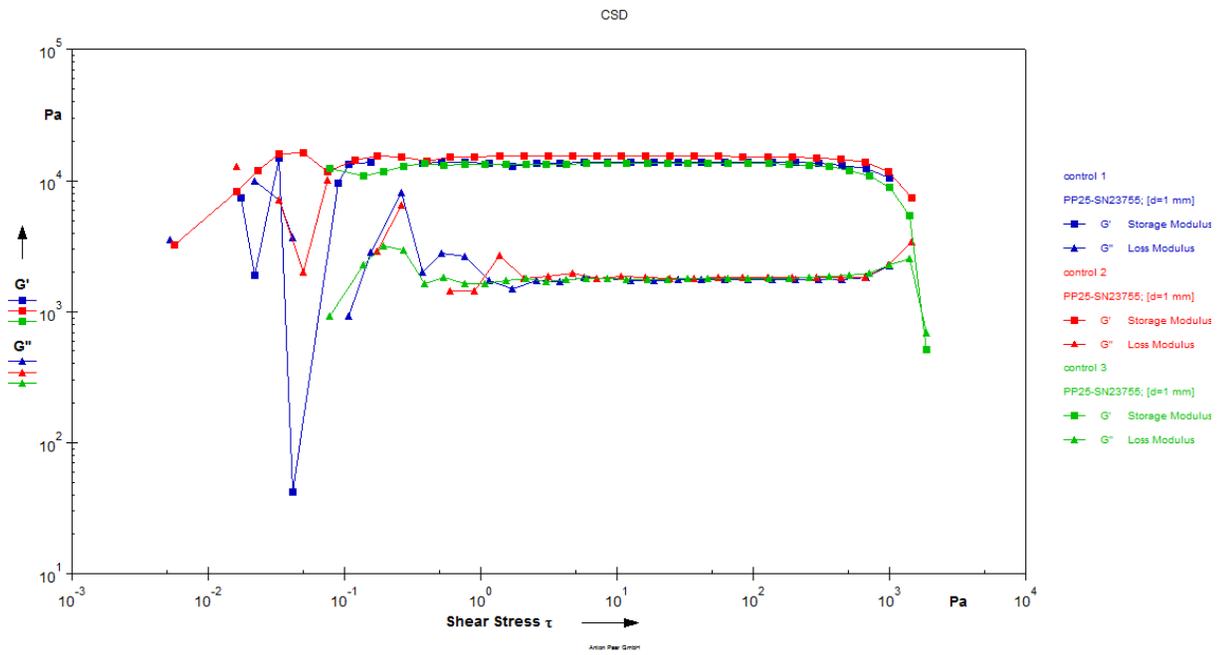
S₅: تیمار دوبار شستشو، نسبت آب: گوشت 1:2، غلظت 1%

H₂O₂

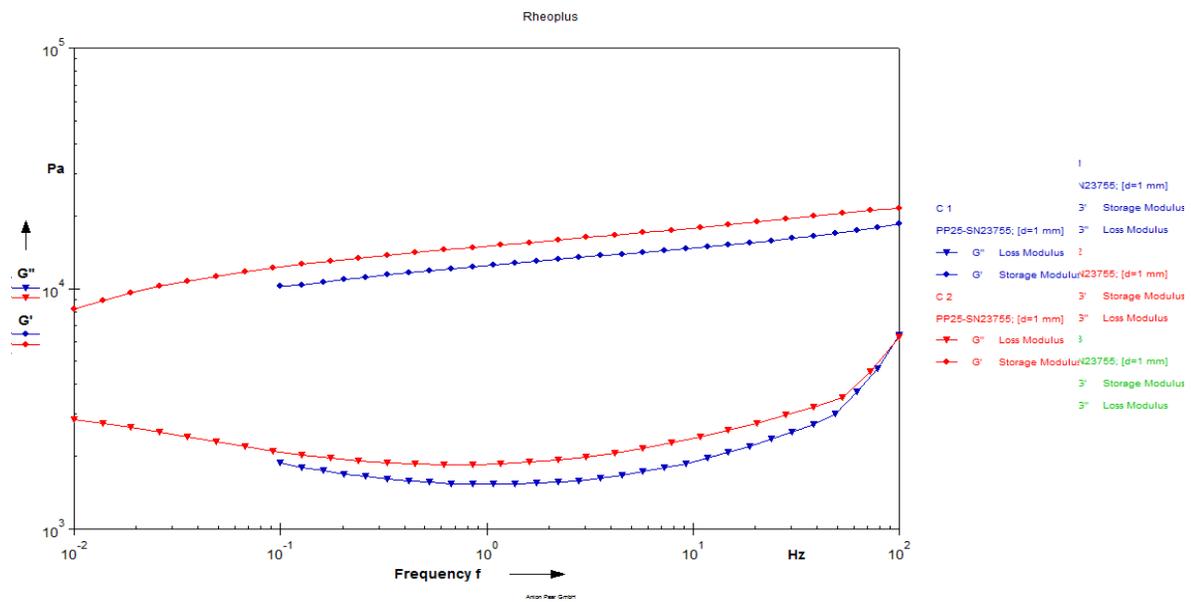
S₃: تیمار سه بار شستشو، نسبت آب: گوشت 1:2، 1% H₂O₂.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تیمارهای بهینه مورد بررسی در این پژوهش حاصل پژوهشی بوده است که در قالب آزمایش فاکتوریل و به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS version 17 انجام پذیرفت و آنالیز داده‌ها در قالب تجزیه و تحلیل واریانس Multivariate Analysis انجام شد تا معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین تیمارها مشخص گردید و سپس از آزمون دانکن برای مشخص کردن تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها در سطح اطمینان 95 درصد انجام گردید. نتایج پژوهش پیشین (یافت و ریز ساختار ژل سوریمی ماهی کپور نقره‌ای متأثر از به‌کارگیری



شکل 1-آزمون روبش تنش.



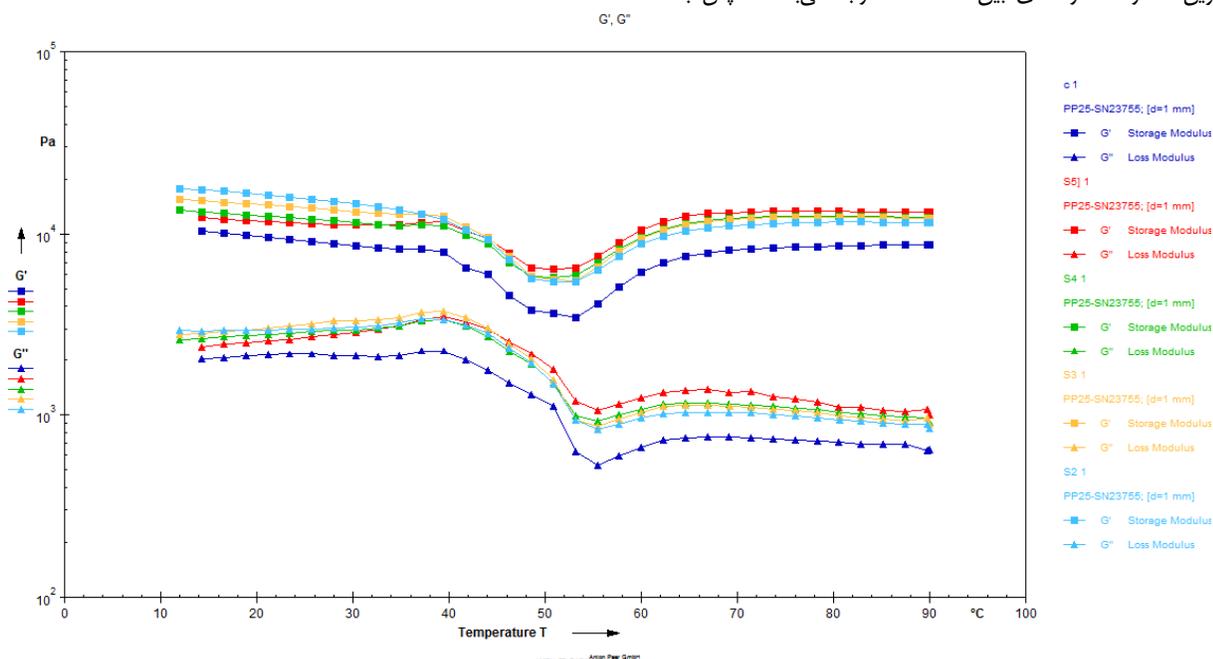
شکل 2-آزمون روبش فرکانس.

افزایش دما از 52 درجه تا 62 درجه سانتی‌گراد منحنی ذخیره انرژی روند افزایشی داشته و تا دمای 80 درجه سانتی‌گراد منحنی روند نسبتاً پایداری دارد. با توجه به شکل 3، منحنی‌های G' نمونه‌های متأثر از H_2O_2 به صورت واضحی از نمونه شاهد بالاتر بودند.

تغییرات موجود در نمودار مدول افت (G'') نیز در شکل 3 نشان داده شده است. این تغییرات روند مشابهی را با مدول ذخیره (G') داشتند اما با این تفاوت که مقادیر G' بسیار بیشتر از مقادیر G'' بود. به عبارت دیگر مقادیر بالاتر مدول افت تیمارهای متأثر از H_2O_2 نسبت به تیمار شاهد بیانگر بیش‌تر بودن ویژگی ویسکوز و پایین‌تر بودن ویژگی الاستیسیته این تیمارها نسبت به تیمار شاهد می‌باشد.

آزمون روبش دمایی

جهت بررسی اثرات فاکتورهای مختلف (غلظت H_2O_2 ، دفعات شستشو، نسبت آب به گوشت) بر خصوصیات رئولوژیکی دینامیکی ژل سوریمی، از دو مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') استفاده گردید. آزمون روبش دما در محدوده دمایی 10 تا 90 درجه سانتی‌گراد و تنش 100 پاسکال و فرکانس 0/1 هرتز انجام شد. شکل 3 منحنی‌های 5 گروه تیمار را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل 3، دیده می‌شود، منحنی G' برای تمام نمونه‌های متأثر از H_2O_2 همانند منحنی مربوط به تیمار شاهد، با افزایش دما در ابتدا کاهش می‌یابد و سپس روند افزایش اندکی داشته و دوباره با افزایش دما از 40 تا 50 درجه کاهش شدیدی دارد. در تمامی نمونه‌های متأثر از H_2O_2 و نمونه شاهد کم‌ترین مقدار G' در دمای بین 50 تا 52 درجه می‌باشد. سپس با



شکل 3-آزمون روبش دمایی.

اولیه به مقدار اندک در نمودار G' مربوط به نمونه‌های 4 (H_2O_2 2%)، 3:1، یک دفعه شستشو)، 5 (H_2O_2 1%)، 2:1، دو دفعه شستشو) و نمونه شاهد را می‌توان به تشکیل پیوندهای عرضی میان مولکول‌های پروتئین‌ها از طریق اتصالات هیدروژنی نسبت داد که در دماهای پایین رخ می‌دهند (Kim and Lee, kamath et al., 1992). چنین رفتاری را Liu و همکاران (2017) برای خمیر گوشت ماهی گزارش داده‌اند؛ اما شیب افزایشی در نمونه‌های آن‌ها تا دمای 35 درجه سانتی‌گراد بود.

طی حرارت دادن سوریمی ممکن است واکنش‌های متعددی رخ دهد که مکانیسم‌های مختلفی مانند ژلاسیون پروتئین‌ها در آن دخیل است. در رابطه با سوریمی، تغییرات ماکروسکوپی که بر اثر حرارت دادن مشاهده می‌شوند مربوط به اثر دما بر پروتئین‌ها می‌باشد. میوزین جزء اصلی تاثیرگذار در مکانیسم ژلاسیون است (Ferris et al., 2009). تغییراتی که در نمودارهای G' مربوط به نمونه‌های سوریمی در این پژوهش رخ داد را می‌توان به فرآیند تشکیل ژل بر اثر حرارت نسبت داد (Yoon et al., 2004).

پروتئین‌های دناتوره شده نهایی در شبکه پروتئینی ایجاد می‌گردد (Zhang *et al.*, 2013). به‌طور کلی می‌توان گفت پروتئین‌ها در حالت طبیعی درهم آمیخته هستند، در این بین حرارت و یا تیمار شیمیایی باعث افزایش تغییرات در ساختار طبیعی پروتئین‌های میوفیبریلی و به‌خصوص میوزین می‌گردد که این تغییرات با تغییر ساختار و باز شدن پروتئین‌ها که ناشی از کاهش مارپیچ آلفا و تغییر حالت آن به صفحه بتا است، همراه است و در اثر آن در هنگامی که پروتئین‌ها از هم باز می‌شوند، سطوح واکنش‌پذیر مولکول‌های پروتئینی مجاور که توانایی ایجاد پیوند را با یکدیگر دارند می‌توانند از طریق پیوندهای بین مولکولی با یکدیگر ایجاد پیوند کنند. هنگامی که مقادیر مطلوبی از این پیوندها تشکیل شود، از طریق پیوندهای دی‌سولفیدی، کووالانسی غیر دی‌سولفیدی و یا پیوندهای هیدروفوبی، شبکه سه‌بعدی تشکیل می‌شود (Liu *et al.*, 2004 و Yoon *et al.*, 2007). با افزایش دما، از دمای 80 درجه سانتی‌گراد به بعد از شیب افزایشی کاسته شده و حالت نمودار تقریباً به سمت مسطح شدن پیش رفته که دلیل آن نتیجه اثر دما پس از تکمیل تجمع و توده‌ای شدن پروتئین‌ها است (Liu *et al.*, 2007).

زاویه فاز یا تانژانت دلتا ($\tan \delta$) و بیانگر تغییرات الاستیسیته و ویسکوزیته طی ژلاسیون حرارتی می‌باشد و از نسبت G'' به G' به‌دست می‌آید. یک ماده کاملاً الاستیک دارای δ صفر و یک ماده ویسکوز دارای δ 90 درجه است. سوریمی و سایر ژل‌های پروتئینی به صورت ویسکوالاستیک هستند که بعد از حرارت‌دهی تقریباً به فرم الاستیک در آمده و مقدار عددی δ آنها کم می‌باشد (جعفرپور، 1391). بنابراین مقدار $\tan \delta$ در انتقال از سول به ژل کاهش می‌یابد (Fukushima *et al.*, 2007). باتوجه به شکل 4 می‌توان مشاهده کرد که مقدار زاویه فازی از دمای 10 به 44 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و سپس از 44 تا 48 درجه سانتی‌گراد کاهش معنی‌داری یافت. با افزایش بیشتر دما از 50 درجه سانتی‌گراد، مقدار $\tan \delta$ به‌طور پیوسته کاهش یافت که به دلیل بالا بودن ویژگی الاستیسیته می‌باشد که در نمونه‌های حاوی H_2O_2 و نمونه شاهد تقریباً یکسان است.

افزایش اولیه در مقدار $\tan \delta$ بیانگر افزایش بخش ویسکوز یا افزایش سیالیت به‌دلیل شکسته شدن ساختار پروتئین‌ها و کاهش $\tan \delta$ با افزایش دما نشان‌دهنده شکل‌گیری پیش‌رونده بدنه ژل الاستیک با ساختار شبکه پروتئینی و به عبارت دیگر، سفت‌تر شدن ساختار نمونه‌ها است که مشابه گزارش Esturk و Park (2014)، برای اکتومیوزین به‌دست آمده از سوریمی ماهی‌های آب‌های سرد و آب‌های گرم است. علاوه بر این، Yongsawatdigul و Park (2003)، نشان دادند که زاویه فاز اکتومیوزین ماهی‌های گوزیم، ابتدا از دمای 10 تا دمای 32 درجه سانتی‌گراد کاهش و سپس تا دمای 41 درجه سانتی‌گراد افزایش و پس از آن دوباره کاهش می‌یابد که دلیل این تغییرات را دگرگونی‌های کنفورماسیونی و باز شدن ساختار

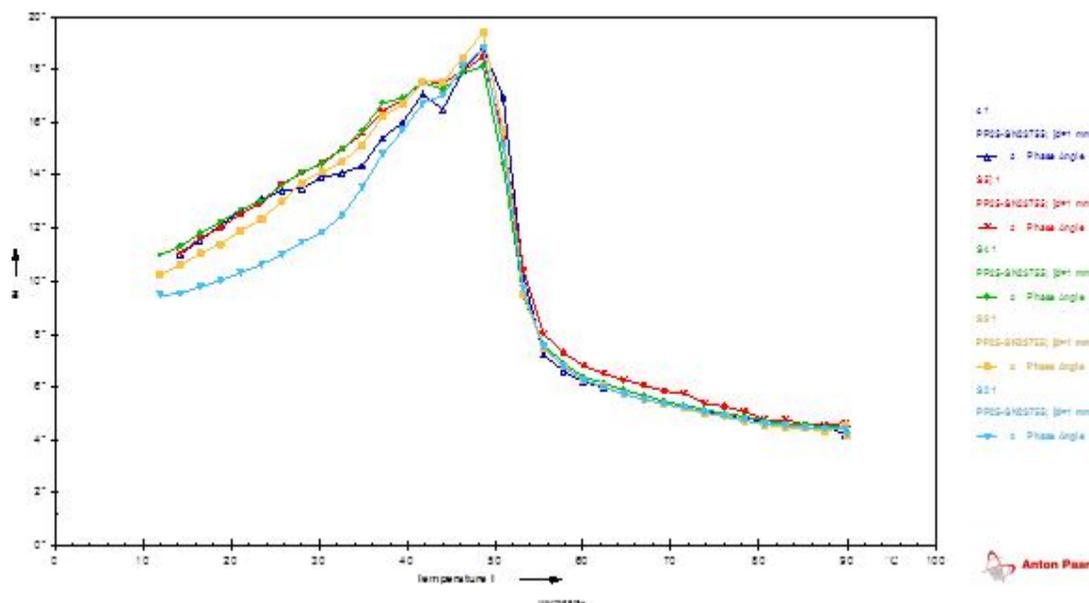
Zhang و همکاران (2013) نیز وجود ژلاسیون دو مرحله‌ای را برای نمونه‌های حاوی ترکیب سوریمی (70 درصد) و گوشت گاو (30 درصد) به همراه نشاسته گزارش دادند. Kong و همکاران (2016) نیز وجود ژلاسیون دو مرحله‌ای را در تحقیقی بر اثر نشاسته برخواص ژل سوریمی پلاک آلاسکا تحت تیمارهای دمایی مختلف گزارش کردند. بر خلاف این موارد Esturk و Park (2014) افزایش یک مرحله‌ای در مقدار G' را برای نمونه‌های اکتومیوزین به‌دست آمده از سوریمی برخی ماهیان سردابی و گرمابی گزارش کردند. در مطالعه حاضر پس از مرحله افزایشی اولیه، افت در مقدار G' در دمای 40 درجه سانتی‌گراد برای نمونه‌های متأثر از پراکسید هیدروژن و شاهد را می‌توان به عوامل مختلف همچون فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک اندوژن مقاوم به حرارت، جداسازی در ساختار شبکه اکتین - میوزین، تخریب ساختار شکل گرفته در مرحله اول که از طریق پیوندهای هیدروژنی ایجاد شده بود و دناتوراسیون میوزین نسبت داد (Zhang *et al.*, 2013).

به عبارت دیگر، باز شدن پروتئین می‌تواند موجب افزایش سیالیت ساختار ژل مانند، شکسته شدن برخی پیوندها میان پروتئین‌ها و در نتیجه کاهش G' شود (Yoon *et al.*, Yin and Park, 2014). انتقال از فرم هلیکس به کوئل¹ در پروتئین میوزین و شکسته شدن شبکه تازه شکل گرفته پروتئینی را عامل افزایش سیالیت نمونه‌های سوریمی (Yin and Park, 2014) و اکتومیوزین ماهی سیم باله نخی (*Threadfin bream*) Yongsawatdigul و Park (2003)، ذکر کرده‌اند. در پژوهش حاضر در تمامی نمونه‌های متأثر از H_2O_2 و نمونه شاهد، کم‌ترین مقدار G' در دمای بین 50 تا 52 درجه سانتی‌گراد می‌باشد که با گزارش Tornberg (2005)، مطابقت دارد که عنوان کرد باز شدن رشته‌های پروتئین میوزین در دمایی نزدیک به 56 درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد. کاهش میزان G' با افزایش دما را محققان دیگر همچون Egelandsdal و همکاران (1986)، برای ژل‌های میوزین، Zhang و همکاران (2013) برای ژل‌های ترکیب سوریمی و گوشت گاو و Yin و Park (2014) برای سوریمی ماهی پولاک آلاسکا نیز گزارش کردند. با افزایش دما مقدار G' نیز افزایش یافت که نقطه شروع آن از 52 درجه سانتی‌گراد در نمونه شاهد و سایر تیمارها بوده و تا دمای 80 درجه سانتی‌گراد ادامه داشته و در دمای بالاتر از آن تقریباً روند ثابت را طی کرده است. این افزایش ثانویه در طی حرارت‌دهی می‌تواند در درجه اول مربوط به توقف فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک مقاوم به حرارت بوده که به دنبال آن تقویت ساختمان ژل صورت می‌گیرد که نشان‌دهنده شکل‌گیری ژل‌های پروتئینی با ماهیت الاستیک است. این حالت احتمالاً به دلیل افزایش تعداد اتصالات عرضی بین توده‌های پروتئینی و قرارگیری

1 Helix-to-coil transformation

ساختار ژل دارد. روند تدریجی کاهش زاویه فازی در تیمارهای متأثر از H_2O_2 و تیمار شاهد موجود در این پژوهش از 10 به 44 درجه سانتی‌گراد بود و سپس در ابتدا در دمای 45 درجه سانتی‌گراد مقداری افزایش یافت و در نهایت روند کاهشی داشت که دلیل آن را دگرگونی‌های کنفورماسیونی و بازشدن ساختار ماریچی و پس از آن جمع شدن پروتئین‌ها و بخصوص میوزین و تشکیل پیوندهای بین مولکولی از طریق بر همکنش‌های هیدروفوبی و دی‌سولفیدی است که در واقع نشان از افزایش G' دارد (جاوید، 1394).

ماریچی و پس از آن جمع شدن پروتئین‌ها و به‌خصوص میوزین و تشکیل پیوندهای بین مولکولی از طریق بر همکنش‌های هیدروفوبی و دی‌سولفیدی عنوان کردند. همانطور که در نمودار زاویه فازی حاصله از این پژوهش مشاهده شد، افزایش ذکرشده در تمامی نمونه‌ها به خوبی دیده شد که ضعیف بودن اتصالات ساختار شبکه‌ای آن را نشان می‌دهد و فاکتورهای اعمال شده در مطالعه حاضر اثر چندانی شکننده بودن اتصالات موجود در ساختار شبکه‌ای نداشته است. همچنین در خصوص کاهش ذکرشده Binsi و Shamasundar (2012)، عنوان کردند که کاهش در مقدار $\tan \delta$ نشان از شکل‌گیری



شکل 4- زاویه فازی ($\tan \delta$).

هیچکدام از نمونه‌ها بازیافت کامل مشاهده نشد و کرنش ایجاد شده در هیچکدام از نمونه‌ها به حالت اولیه خود نرسید.

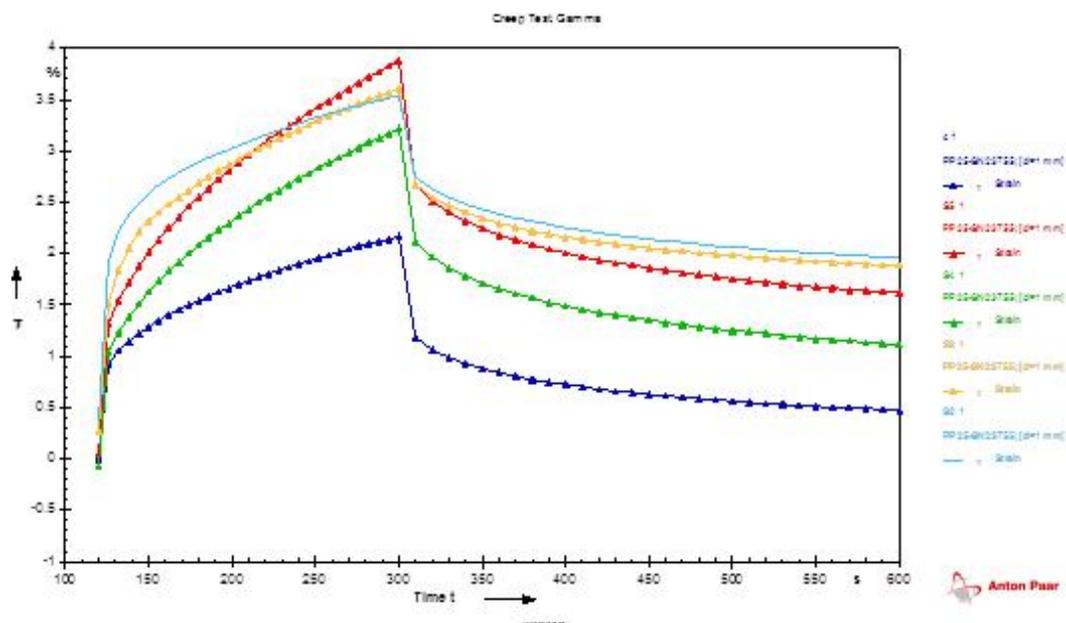
آزمون خزش آزمونی است که در آن چگونگی رفتار ماده را در هنگام اعمال تنش ثابت در طی دوره زمانی معین مشخص می‌کند. در حالی که آزمون بازیافت رفتار آن را پس از حذف تنش مورد بررسی قرار می‌دهد. کمتر بودن کرنش نشان‌دهنده جامد بودن بیشتر است. در مواد ویسکوالاستیک بازیافت تنش اعمال شده به صورت نسبی بوده و هرچه فاز بازیافت طولانی‌تر باشد خصوصیت جامد بودن ماده نیز بیشتر است (Razavi et al., 2013). در کل در ابتدای دوره تأخیر و وارد شدن تنش کرنش الاستیک فوری به سرعت افزایش یافت. در واقع این ناحیه قسمتی است که اگر در آن تنش حذف شود، نمونه به صورت کامل به وضعیت اولیه خود بر می‌گردد (قنبرزاده، 1392). همانطور که در شکل 5 مشاهده شد، تیمار شاهد در مقایسه با نمونه‌های متأثر از H_2O_2 دارای کمترین افزایش در دوره تأخیر و

آزمون خزش - بازیافت

شکل 5 نشان‌دهنده رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌های متأثر از H_2O_2 و نمونه شاهد است این نمودار از دو دوره تأخیر و بازیافت تشکیل شده است. به‌طور کلی در ابتدای دوره تأخیر و اعمال تنش که در طی آن یک تنش ثابت بر نمونه اعمال شد، کرنش الاستیک فوری بطور ناگهانی افزایش یافته است. سپس با افزایش زمان، به تدریج در کرنش روند افزایشی ایجاد شد و شیب نمودار کاهش یافت. در طی مرحله بازیافت و در هنگام حذف تنش یک بازیافت سریع (بازیافت الاستیک) در کرنش رخ داد. پس از آن با افزایش زمان سرعت بازیافت کمتر گردیده و در انتها به یک حالت مسطح نزدیک شد. همانطور که در شکل دیده می‌شود کمترین و بیشترین کرنش به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه 5 (% H_2O_2 ، 1:2 ، دو بار شستشو) بود. در مرحله بازیافت و پس از طی مدت زمان 300 ثانیه در

آن با افزایش زمان سرعت بازیافت کمتر گردیده و در انتها به یک حالت مسطح نزدیک شد، که از این بازیافت با نام بازیافت الاستیک تاخیری یاد می‌شود (قنبرزاده، 1392). در این مرحله و پس از طی مدت زمان 300 ثانیه در هیچکدام از نمونه‌ها بازیافت کامل مشاهده نشد و کرنش ایجاد شده در هیچکدام یک از نمونه‌ها به حالت اولیه خود نرسید. در مواد ویسکوالاستیک بازیافت تنش اعمال شده به صورت نسبی بوده و هرچه بازیافت طولانی‌تر باشد خصوصیت جامد بودن ماده نیز بیشتر است (Razavi et al., 2013). اختلاف مشاهده شده بین نقطه شروع اعمال تنش و نقطه پایان آزمون نشان‌دهنده تغییر شکل دائمی است و بیانگر این مطلب است که بخشی از ساختار دیگر قابل بازیافت نیست (قنبرزاده، 1392).

در هنگام اعمال تنش بود. در خصوص موادی که از ماهیت ویسکوالاستیک بالایی برخوردارند کاهش کرنش در برابر تنش می‌تواند به استحکام شبکه ژل پروتئینی نسبت داده شود یعنی به عبارتی در هنگام اعمال تنش کم‌ترین گسستگی در اتصالات عرضی به وقوع پیوسته است. این حالت در مورد نمونه شاهد در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده شد. در واقع در نمونه‌های متأثر از H_2O_2 در ابتدا اجزای کوچک مولکولی که دارای اتصالات عرضی ضعیف‌تر بوده دچار گسستگی شده و در ادامه و با افزایش زمان اعمال تنش، گسستگی به حدی افزایش یافته که در آن باندهای قوی‌تر مانند پیوندهای کووالانسی دچار گسستگی گردیدند. در طی مرحله بازیافت و در هنگام حذف تنش یک بازیافت سریع در کرنش رخ داد. پس از



شکل 5- آزمون خزش-بازیابی.

تیمار شاهد در مقایسه با نمونه‌های متأثر از H_2O_2 دارای کم‌ترین افزایش در دوره تأخیر و در هنگام اعمال تنش بود. در خصوص موادی که از ماهیت ویسکوالاستیک بالایی برخوردارند کاهش کرنش در برابر تنش می‌تواند به استحکام شبکه ژل پروتئینی نسبت داده شود یعنی به عبارتی در هنگام اعمال تنش کم‌ترین گسستگی در اتصالات عرضی به وقوع پیوسته است. نتیجه‌گیری کلی این که حضور H_2O_2 طی فرآیند شستشوی گوشت چرخ‌شده، فاقد اثر منفی معنی‌دار بر ویژگی‌های رئولوژیکی سوریمی تهیه شده بود.

نتیجه‌گیری

طی حرارت دادن سوریمی ممکن است واکنش‌های متعددی رخ دهد که مکانیسم‌های مختلفی مانند ژل‌اسیون پروتئین‌ها در آن دخیل است. تغییراتی که در نمودارهای G' مربوط به نمونه‌های سوریمی در این پژوهش رخ داد را می‌توان به فرآیند تشکیل ژل بر اثر حرارت نسبت داد. افزایش اولیه به مقدار اندک در نمودار G' مربوط به نمونه‌های 4 و 5 و نمونه شاهد را می‌توان به تشکیل پیوندهای عرضی میان مولکول‌های پروتئین‌ها از طریق اتصالات هیدروژنی نسبت داد که در دماهای پایین رخ می‌دهند. با اعمال آزمون خزش - بازیافت،

منابع

- اشرفی شه‌میرزادی، ش. معتمدزادگان، ع. جعفرپور، ع. شهره، ب.، 1397، بررسی تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی، نمک و زمان قوام یابی بر روی خواص رئولوژیکی ژل سوریمی، مجله علوم و صنایع غذایی، 74، 129-139.
- جاوید، ح. 1394، تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی های بافتی و رئولوژیکی سوریمی تهیه شده از ماهی کپور سرگنده (*Hypophthalmichthys nobilis*)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- جعفرپور، ع. گرسیکا الف. لئونارد ب. 1388، مطالعه اثر تیمار پراکسید هیدروژن و pH بر روی کیفیت رنگ و ریز ساختار بافت فیله ماهی کپور معمولی ماده و ژل سوریمی تهیه شده از آن، نشریه پژوهش های صنایع غذایی ایران، 5، 107-97.
- جعفرپور، ع. 1391، سوریمی و ویژگی های فیزیکی ژل آن. انتشارات آوای مسیح: 20.
- قنبرزاده، ب. 1392، مبانی رئولوژی مواد و بیوپلیمرهای غذایی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، 81-130.
- Binsi, P., & Shamasundar, B., 2012, Purification and characterisation of transglutaminase from four fish species, effect of added transglutaminase on the viscoelastic behaviour of fish mince. *Food Chemistry*, 132(4):1922-1929.
- Endoo, N., & Yongsawatdigul J., 2014, Comparative study on chemical and gel-forming properties of surimi from freshwater and marine fish during frozen storage. *Food and Applied Bioscience Journal* 2(3):192-202.
- Esturk, O., Park, J., 2014, Comparative Study on Degradation, Aggregation and Rheological Properties of Actomyosin from Cold, Temperate and Warm Water Fish Species. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14, 67-75.
- FAO., 2016, FAO-yearbook of fishery statistics: *Aquaculture production*, p. 30, Rome.
- Ferris, J., Sandoval, A., Barreiro, J., Sánchez, J., & Müller, A., 2009, Gelation kinetics of an imitation-mortadella emulsion during heat treatment determined by oscillatory rheometry. *Journal of food engineering* 95(4):677-683.
- Fukushima, H., Okazaki, E., Fukuda, Y., & Watabe, S., 2007, Rheological properties of selected fish paste at selected temperature pertaining to shaping of surimi-based products. *Journal of food engineering*, 81(2):492-499.
- Jafarpour, A., & Gorczyca, E., 2008, Alternative techniques for producing a quality surimi and kamaboko from common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Food Science* 73(9).
- Jafarpour, A., Sherkat, F., Leonard, B. & Gorczyca, E.M., 2008, Colour improvement of common carp (*Cyprinus carpio*) fillets by hydrogen peroxide for surimi production. *International journal of food science & technology* 43(9):1602-1609.
- Jafarpour, A., & Gorczyca, E.M., 2009, Rheological characteristics and microstructure of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi and kamaboko gel. *Food biophysics* 4(3):172-179.
- Jafarpour, A., & Gorczyca, E., 2009, Characteristics of sarcoplasmic proteins and their interaction with surimi and kamaboko gel. *Journal of Food Science*, 74(1).
- Jiang, S. 2000, Enzymes and their effects on seafood texture. *Seafood enzyme: Utilization and influence on postharvest seafood quality*, 411-450.
- Kamath, G., Lanier, T., Foegeding, E., & Hamann, D., 1992, Nondisulfide covalent cross-linking of myosin heavy chain in "setting" of Alaska Pollock and atlantic croaker surimi. *Journal of Food Biochemistry*, 16(3):151-172.
- Kim, J., & Lee, C., 1987, Effect of starch of textural properties of surimi gel. *Journal of Food Science*, 52(3):722-725.
- Kołodziejaska, I., Sikorski, Z.E., & Niecikowska, C., 1999, Parameters affecting the isolation of collagen from squid (*Illex argentinus*) skins. *Food Chemistry*, 66(2):153-157.
- Kong, W., Zhang, T., Feng, D., Xue, Y., Wang, Y., Li Z., Yang, W. & Xue, C., 2016, Effects of modified starches on the gel properties of Alaska Pollock surimi subjected to different temperature treatments. *Food Hydrocolloids*, 56:20-28.
- Liu, R., Zhao, S., Xiong, S.-b., Xie, B.j., & Liu, H.m., 2007, Studies on fish and pork paste gelation by dynamic rheology and circular dichroism. *Journal of Food Science* 72(7).
- Macdonald, G., & Hamann, D., 1992, Rheology and texture properties of surimi based food. *Surimi Technology*:429-500.
- McClements, D., 2005, Food emulsions in practice. *Food Emulsions: Principles, Practises and Techniques*. CRC Press, Boca Raton:515-543.
- Muriel-Galet, V., Lopez-Carballo, G., Gavara, R. & Hernández-Muñoz, P. 2015, Antimicrobial effectiveness of lauroyl arginate incorporated into ethylene vinyl alcohol copolymers to extend the shelf-life of chicken stock and surimi sticks. *Food and bioprocess technology* 8(1):208-217.

- Nopianti, R., Huda N., & Ismail N., 2011, A Review on the Loss of the Functional Properties of Proteins during Frozen Storage and the Improvement of Gel-forming Properties . *American Journal of food technology*, 6(1):19-30.
- Park J.W., 2013, Surimi and surimi seafood, *CRC press*: 491-493.
- Razavi, S.M., Taheri,H., & Sanchez, R., 2013, Viscoelastic characterization of sage seed gum. *International Journal of Food Properties*, 16(7):1604-1619.
- Thanonkaew, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Decker, E.A., 2008, The effect of antioxidants on the quality changes of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) muscle during frozen storage. *LWT-Food Science and Technology*. 41(1):161-169.
- Tornberg, E., 2005, Effects of heat on meat proteins–Implications on structure and quality of meat products. *Meat science*, 70(3):493-508.
- Yin, T., & Park, J.W., 2014, Effects of nano-scaled fish bone on the gelation properties of Alaska pollock surimi. *Food Chemistry* 150:4.468-63.
- Yongsawatdigul, J., & Park, J., 2003, Thermal denaturation and aggregation of threadfin bream actomyosin. *Food Chemistry*, 83(3):409-416.
- Yoon, W., Gunasekaran, S., & Park, J., 2004, Characterization of thermorheological behavior of Alaska pollock and Pacific whiting surimi. *Journal of Food Science*, 69(7):338-343.
- Zhang, L., Xue, Y., Xu, J., Li, Z., & Xue, C., 2013, Effects of high-temperature treatment (≥ 100 C) on Alaska Pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gels. *Journal of food engineering*, 115(1):115-120.

The Effects of Washing the Minced of Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the presence of Hydrogen peroxide on Rheological Properties of produced Surimi

N. Badfar¹, S. A. Jafarpour^{2*}, M. Abdolahi³

Received: 2018.05.27

Accepted: 2019.05.15

Introduction: There is an expanding market for surimi in the world, and much interest in surimi throughout the seafood and food industry by the rapid growth in popularity of surimi-based products. This interest justifies an investigation into the applicability of freshwater fish species such as Silver carp, as an alternative fish resource, for surimi and surimi based products. Rheology concerns the flow and deformation of substances and, in particular, to their behavior in the transient area between solids and fluids. Moreover, rheology attempts to define a relationship between the stress acting on a given material and the resulting deformation and/or flow that takes place. Rheological properties are determined by measuring force and deformation as a function of time. Rheological evaluation is a useful technique for gathering information on the textural characteristics of surimi and kamaboko. It describes the surimi dynamic characteristics in the form of storage modulus (G'), loss modulus (G''), and phase angle (δ).

Materials and methods: Whole Silver carp fish were gutted and the head removed, Fillets were minced by a meat mincer with a mesh size of 3 mm, then mince washed one, two and three times at ratio of 1:3 and 1:2 (mince: water) and dewatered. The mince was turned into surimi in a food processor operated for 2 min. salt (2%) was sprinkled over the mince. Ice water was also sprinkled over the mince to adjust the moisture content of the paste to 80 mL/ 100 g.

Dynamic tests using a rheometer (MCR-301, Anton Paar- Germany) were carried out on the surimi gel after setting. The region of linear viscoelasticity of the surimi paste was determined by both stress and frequency sweep tests. The thermorheological behavior of Silver carp surimi was evaluated using a temperature sweep test and reported using sol-gel transition thermographs. The stress of 100 Pa was considered as the stress and the frequency of 1 Hz was considered as the frequency in the frequency sweep test, then Temperature sweep test involved heating the surimi samples from 10 to 90°C. Also Crip-recovery test was performed on the surimi in 300 seconds.

Results & discussion: Rheological tests: Frequency sweep, Stress sweep and Temperature sweep graphs were relatively similar and in all samples affected by H_2O_2 and the control sample, the lowest value of G' was recorded between 50 and 52°C. Then, with increasing temperature from 52 to 62°C, the curve G' increased and the curve was stable at temperatures up to 80°C. Changes in the G' graphs can be attributed to the process of forming the gel by heating. Changes in the G'' graph showed a similar trend with G' . In the creep-recovery test, the lowest and most strain were belonged to the control and sample 5 (1% H_2O_2 , 1: 2, twice washing). Studying the figure of Creep-recovery test showed the samples affected by H_2O_2 had more resistance against applied stress in compression with control sample which expressed the effect of H_2O_2 on creating more and effective covalence cross-linking resulting more stable and constant gel network. During Surimi's heating, there are several reactions that involve various mechanisms, such as protein gelation. About Surimi, the observed macroscopic changes are related to the effect of temperature on proteins. The presence of H_2O_2 during the washing process did not have a significant negative effect on rheological properties of Surimi.

Keywords: Silver carp, Hydrogen peroxide, Rheological properties.

1. M.Sc Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2. Associate Professor, Department of Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3. Researcher, Department of Food and Nutrition Sciences, Chalmers University, Sweden

*(Corresponding Author: a.jafarpour@sanru.ac.ir)

اثر بخاردهی و خشک کردن به روش جت برخوردی روی تغییرات رنگ برنج نیم‌پز

غلامرضا چگینی^{1*} - ایمان حسن‌زاده²

تاریخ دریافت: 1395/07/04

تاریخ پذیرش: 1398/01/25

چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی اثر خشک کردن برنج نیم‌پز شده با استفاده از روش جت برخوردی، سینتیک خشک شدن همراه با صفات شاخص سفیدی و اختلاف رنگ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور نمونه‌ها پس از خیساندن (در دمای 70 درجه سلسیوس به مدت 5 ساعت) به مدت 20 و 25 دقیقه بخاردهی شده و در دماهای 90، 100 و 110 درجه سلسیوس با سرعت هوای 15 و 20 متر بر ثانیه خشکانیده شدند پس از آن شاخص‌های کمی (L, a و b) سیستم رنگ‌سنجی CIELAB اندازه‌گیری گردید. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری حاکی از آن است که دمای هوای خشک‌کن نسبت به دو پارامتر مدت بخاردهی و سرعت هوا تاثیر بیشتری بر رنگ برنج نیم‌پز شده داشت. بیشترین مقدار سفیدی 63/884 و کمترین مقدار اختلاف رنگ 29/432 در مدت بخاردهی 20 دقیقه، سرعت هوا 15 متر بر ثانیه و دما 90 درجه سلسیوس به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: جت برخوردی، برنج نیم‌پز شده، شاخص سفیدی، اختلاف رنگ

مقدمه

همچنین افزایش فشار بخاردهی دانه هیدراته (Bhattacharya, 2011) افزایش می‌یابد. افزایش درجه حرارت آب در مرحله خیساندن موجب افزایش جذب رنگ پوسته (Lamberts *et al.*, 2006a) و جذب مواد رنگی (از جمله غنی شدن اسید فولیک) (Kam *et al.*, 2012) می‌شود که تاثیر منفی بر سفیدی دانه برنج دارد.

خشک کردن پس از مراحل خیساندن و بخاردهی برنج انجام می‌شود. روش خشک کردن عامل کلیدی موثر بر کیفیت آسیابانی برنج است (Bhattacharya & Swamy, 1967). در میان گزینه‌های خشک کردن برای مواد با رطوبت بالا خشک‌کن‌های جت برخوردی هوا (Air Jet Impingement Drying) سریع‌تر و با عملکرد بالای انرژی عمل خشک کردن را انجام می‌دهند (Varilek & Walker, 1984) خشک‌کن‌های جت برخوردی علاوه بر دارا بودن نرخ انتقال حرارت بالاتر، معمولاً گرما را با یکنواختی بیشتری به همه قسمت‌های مختلف محصول منتقل می‌کند. استفاده از خشک‌کن‌های جت هوا برای خشک کردن محصولات گرانولی مانند دانه‌های کاکائو، دانه‌های قهوه، برنج، آجیل‌ها و غیره سبب انجام سریع‌تر عملیات و خشک شدن یکنواخت‌تر توده محصول می‌شود (Mujumdar, 2014; Rickard *et al.*, 1993). در این تکنولوژی به دلیل سرعت بالای جت هوا، جریان هوا بر روی محصول، دچار تلاطم و آشفتگی شده و سبب افزایش سرعت انتقال حرارت و جرم در ماده و در نهایت کاهش زمان خشک

یکی از انواع برنج متداول در آسیای شرقی و آفریقا برنج نیم‌پز شده (Parboiled) می‌باشد که توسط تعداد زیادی از مردم مصرف می‌شود (Bhattacharya, 1985; Ramalingam & Raj, 1996) این نوع برنج از شلتوکی تهیه می‌شود که قبل از خشک کردن و آسیاب کردن در آب گرم عمل‌آوری شده باشد. این عمل‌آوری خاص گرمایی، نیم‌پز شدن نامیده می‌شود (Islam *et al.*, 2004). برنج نیم‌پز شده شامل سه مرحله اضافی خیساندن (Soaking)، بخاردهی (Steaming) و خشک کردن (Drying) نسبت به برنج سفید می‌باشد. پس از این مراحل، تولید برنج نیم‌پز شده همانند برنج سفید خواهد بود. پدیده‌های اصلی که در طول نیم‌پز شدن برنج ایجاد می‌شود عبارتند از: انتقال مواد مغذی سبوس از لایه‌های بیرونی به لایه‌های درونی دانه در طول خیساندن، غیرفعال شدن لیپاز که به‌طور طبیعی در سبوس توزیع شده و ژلاتینه شدن نشاسته (Demont *et al.*, 2012).

برنج نیم‌پز رنگی متفاوت نسبت به برنج سفید دارد که احتمالاً رنگ قهوه‌ای برنج نیم‌پز ناشی از انتشار رنگ پوسته در آندوسپرم دانه باشد (Lamberts *et al.*, 2006b; Lamberts *et al.*, 2006a). تغییرات رنگ برنج نیم‌پز با افزایش دمای خیساندن (Islam *et al.*, 2004; Sareepuang *et al.*, 2008) افزایش مدت بخاردهی (Bhattacharya & Rao, 1966; Lamberts *et al.*, 2006a) و

* - نویسنده مسئول: (Email: chegini@ut.ac.ir)

بخاردهی

نمونه‌ها پس از خیساندن، با دمای 120 درجه سلسیوس تحت فشار اتمسفر در اتوکلاو (Autoclave, 121A، ایران) در دو دوره زمانی 20 و 25 دقیقه بخاردهی شدند و بعد از آن به مدت 30 دقیقه در دمای محیط خشک شدند (Pruengam *et al.*, 2014). رطوبت برنج نیم‌پز پس از خشک شدن در محدوده 37-33% (بر پایه تر) بود.

خشک کردن

از خشک‌کن جت برخوردی ساخته شده در طرح پایان نامه نعمتی (Nemati *et al.*, 2010) برای تکمیل فرآیند نیم‌پز استفاده شد. دما در این خشک‌کن تا 250 درجه سانتی‌گراد قابل تنظیم و سرعت آن 1-28 m/s می‌باشد. در شکل 1 نمایی از خشک‌کن جت برخوردی آورده شده است این خشک‌کن از یک دمنده 3 کیلووات برای دمیدن هوا، گرمکن الکتریکی با توان 13/5 کیلووات، ترموکوپل نوع K (Taiwan Lutron, probe TP) برای اندازه‌گیری دما، اینورتر (Taiwan DELTA, VFD - EL) برای اندازه‌گیری و کنترل سرعت، دو محفظه پلنوم همراه با شیر برای کنترل جریان هوا، مدار کنترل دما، محفظه خشک‌کن آلومینیومی و نازل‌ها تشکیل شده است. دمنده هوا را برای گرم شدن به محفظه گرمکن انتقال می‌دهد و پس از ورود هوای گرم به محفظه پلنوم از طریق نازل‌ها به‌طور مستقیم به محصول برخورد می‌کند.

سینتیک خشک شدن

به‌منظور بررسی سینتیک خشک شدن از منحنی آهنگ (شدت) خشک شدن (DR) بر اساس تغییرات رطوبتی محصول استفاده شد. آهنگ خشک شدن، نسبت وزن آب خارج شده از جسم به وزن ماده خشک در واحد زمان می‌باشد برای محاسبه از رابطه 5 استفاده شد (Akpınar *et al.*, 2003):

$$DR = \frac{W_1 - W_2}{W_3 t} \quad (2)$$

که در این رابطه: DR آهنگ خشک شدن (دقیقه⁻¹ × گرم ماده خشک/ گرم آب)، W_2 وزن نمونه در هر مرحله (گرم)، W_1 وزن نمونه در مرحله قبلی (گرم)، W_3 وزن کاملاً خشک نمونه (گرم)، t مدت زمان سپری شده تا مرحله مورد نظر (دو دقیقه) می‌باشد.

رنگ

بعد از فراوری، نمونه‌ها به آزمایشگاه گروه علوم مهندسی صنایع غذایی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران انتقال داده شد. سپس شاخص‌های کمی L ، a و b نمونه‌ها با سیستم رنگ‌سنجی CIELAB با استفاده از رنگ‌سنج (Konica Minolta، ژاپن، C360) اندازه‌گیری شد. قبل از هر بار اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها، دستگاه با

شدن محصول می‌گردد (Nemati *et al.*, 2010). هدف از این تحقیق مطالعه و بررسی خشک کردن برنج نیم‌پز با استفاده از خشک‌کن جت برخوردی بود. برای این منظور اثرات مدت بخاردهی، سرعت و دمای هوا بر روی شاخص سفیدی، اختلاف رنگ و سینتیک خشک شدن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر روی رقم هاشمی که رقمی رایج در استان گیلان می‌باشد، در آزمایشگاه پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران انجام شد قبل از شروع آزمایش نمونه‌ها از کاه و کلش‌های موجود به‌طور دستی تمیز شدند. اثر پارامترهای مدت بخاردهی در دو سطح (20 و 25 دقیقه)، دما در سه سطح (90، 100 و 110 درجه سلسیوس) و سرعت هوا خشک‌کن در دو سطح (15 و 20 متر بر ثانیه) بر روی شاخص سفیدی، اختلاف رنگ و سینتیک خشک شدن برنج نیم‌پز مورد بررسی قرار گرفت. از نمونه‌های 100 گرمی برای تعیین رطوبت شلتوک استفاده شد برای این کار نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در دمای 130 درجه سلسیوس در دستگاه آن قرار داده شدند (Chen *et al.*, 1997) سپس با استفاده از رابطه 1 مقدار رطوبت اولیه بر پایه تر به‌دست آمد. به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت شلتوک در مراحل مختلف، نمونه‌ها در فواصل زمانی مشخص (دو دقیقه) با ترازوی دیجیتال (Philippines EMB 600 - 2, Kern) با دقت 0/01 گرم توزین و رطوبت محاسبه شد.

$$M_w = \frac{W_w - W_d}{W_w} \quad (1)$$

که در این رابطه: M_w مقدار رطوبت بر پایه تر، W_w وزن ماده تر (گرم)، W_d وزن ماده خشک (گرم). فرآیند نیم‌پز کردن در برنج شامل سه مرحله خیساندن، بخاردهی و خشک کردن می‌باشد.

خیساندن

اولین مرحله از فرآیند نیم‌پز کردن خیساندن می‌باشد. براساس محتوای آمیلوز رقم هاشمی (20-25%) دانه‌های شلتوک تمیز شده به‌منظور به‌دست آوردن دانه برنج اشباع شده (رسیدن به رطوبت تعادلی)، شلتوک‌ها درون کیسه‌هایی از جنس پارچه تنظیف (متقال) قرار داده شد و به مدت 5 ساعت در بن ماری (Water bath, W6I4B) با دمای 70 درجه سلسیوس خیسانده شد (Juliano, 1979; Luh, 1980). نمونه‌ها پس از خیساندن به مدت 1 ساعت در دمای محیط باقی ماندند تا آب در دانه برنج نفوذ کرده و به تعادل برسد.

ΔE : اختلاف رنگ (بی بعد)

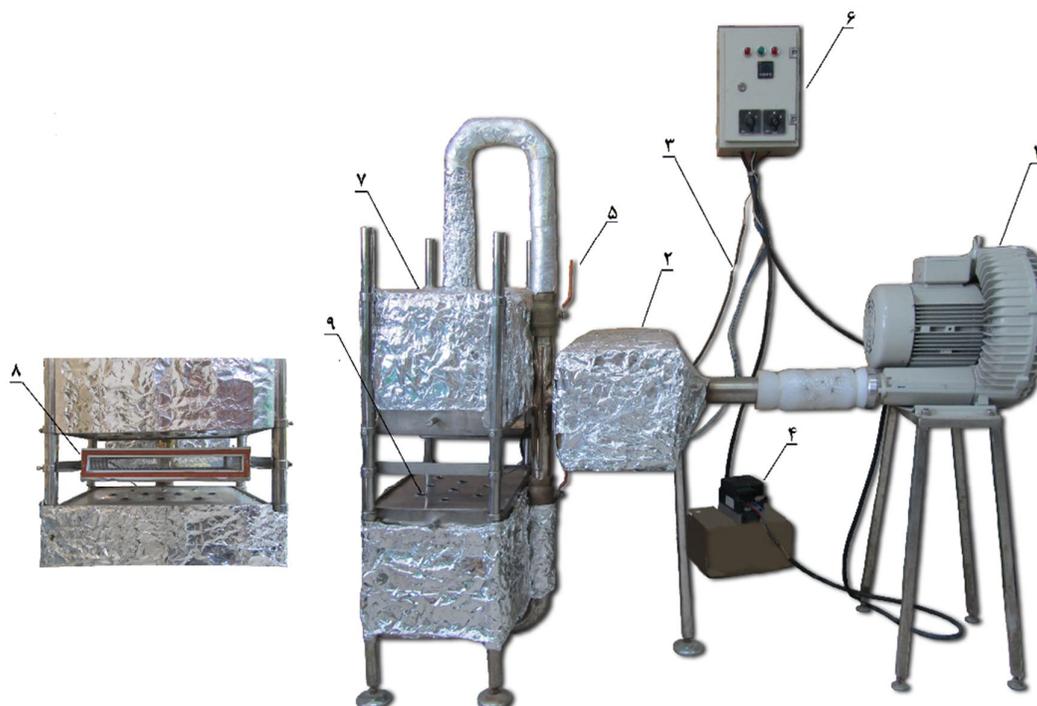
WI: شاخص سفیدی (بی بعد)

برای تجزیه تحلیل داده‌ها از آزمایش کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و مقایسه میانگین اثرات اصلی و متقابل عوامل مستقل از آزمون چند دامنه‌ای استفاده شد.

استفاده از یک سطح سفید استاندارد ($L=100$) کالیبره شد و آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گردید. اختلاف رنگ و شاخص سفیدی با استفاده از روابط 6 و 7 محاسبه شد (Maskan, 2001; Stripinyowanich & Noomhorm, 2011).

$$\Delta E = (\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 \quad (6)$$

$$WI = 100 - [(100 - L)^2 + (b)^2 + (a)^2]^{1/2} \quad (7)$$



شکل 1- نمایی از خشک کن جت برخوردی

1- دمنده؛ 2- گرمکن الکتریکی؛ 3- ترموکوپل؛ 4- اینور تور؛ 5- شیر؛ 6- PID کنترلر؛ 7- پلنوم؛ 8 و 9- محفظه خشک کن و نازل‌ها.

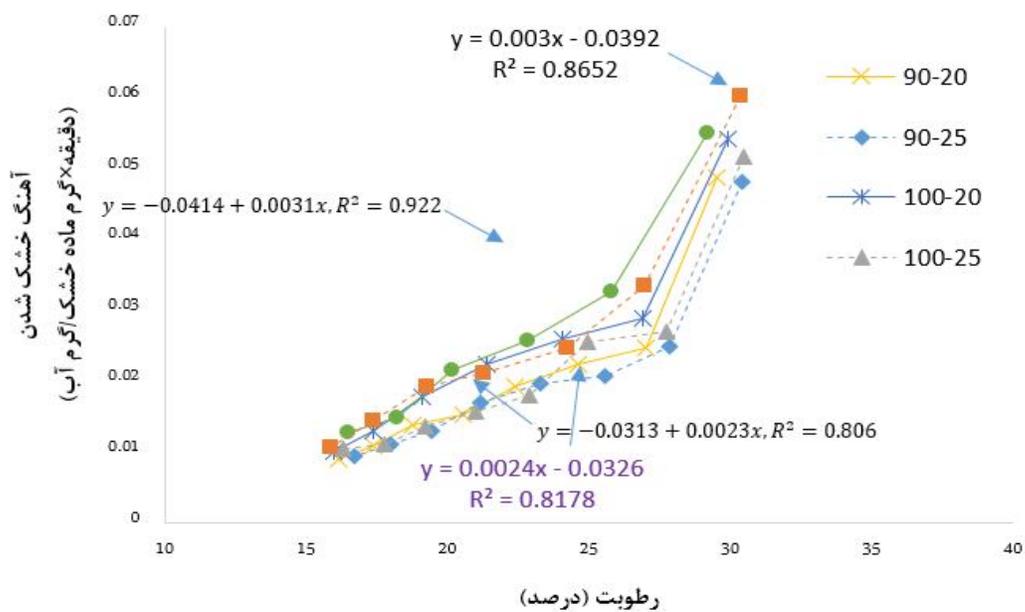
موجب افزایش سرعت خشک شدن شده است، با افزایش دما نرخ تبخیر بیشتر شده و آهنگ خشک شدن نیز بیشتر می‌شود (Mujumdar, 2014). در این حالت بیشترین شیب 0/0031 برای دمای 110 درجه سلسیوس و مدت بخاردهی 20 دقیقه بود و کمترین این مقدار 0/0023 برای دمای 90 درجه سلسیوس و مدت بخاردهی 25 دقیقه به دست آمد. با افزایش سرعت هوا از 15 به 20 متر بر ثانیه نتایج حاصل از تغییرات دمایی مشابه سرعت هوای 15 متر بر ثانیه بود.

تأثیر تغییرات سرعت و دمای هوا در مدت بخاردهی 20 دقیقه بر آهنگ خشک شدن در شکل 3 آورده شده است. همانطور که پیداست افزایش سرعت و افزایش دمای هوا موجب افزایش آهنگ خشک شدن شد.

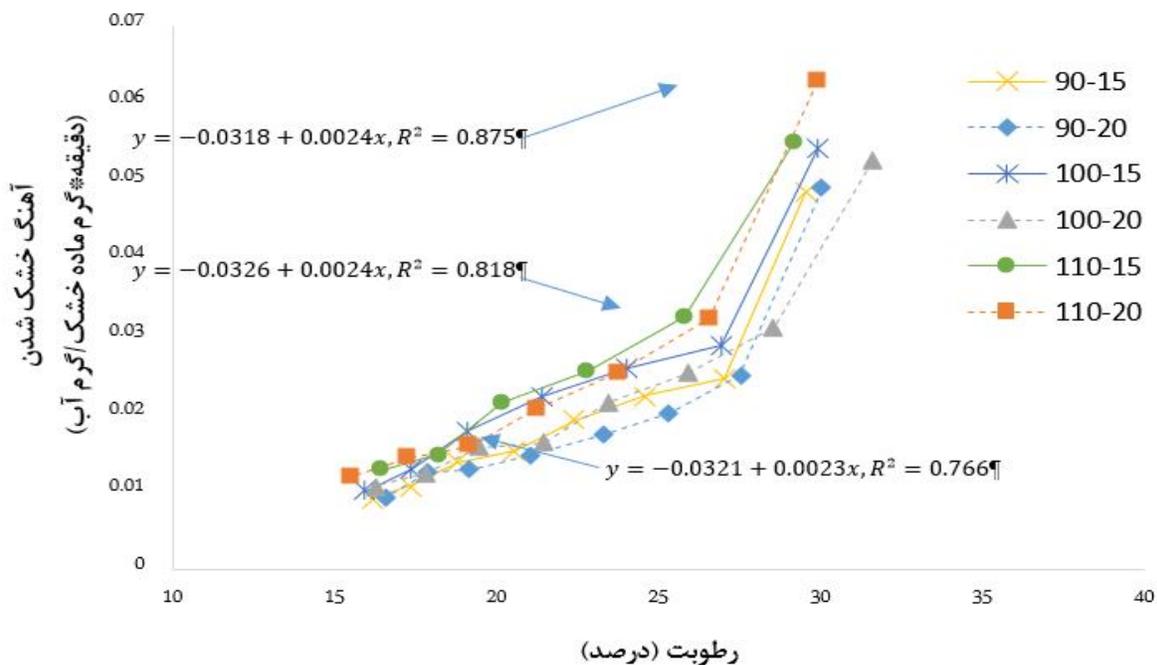
نتایج و بحث

در تمامی شرایط آزمایش نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون نشان داد که آهنگ خشک شدن با کاهش رطوبت به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. آهنگ خشک شدن شلتوک نیم‌پز برای سرعت هوای 15 متر بر ثانیه با مدت بخاردهی و دمای هوای مختلف در شکل 2 نشان داده شده است.

در همه دماها با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه شیب نمودار آهنگ خشک شدن به رطوبت کاهش یافته و سرعت خشک شدن محصول کاهش یافت و این نشان می‌دهد که رطوبت با افزایش مدت زمان بخاردهی بیشتر جذب محصول شده است (Ramalingam, 1996). همچنین افزایش دما در مدت‌های بخاردهی‌های مختلف

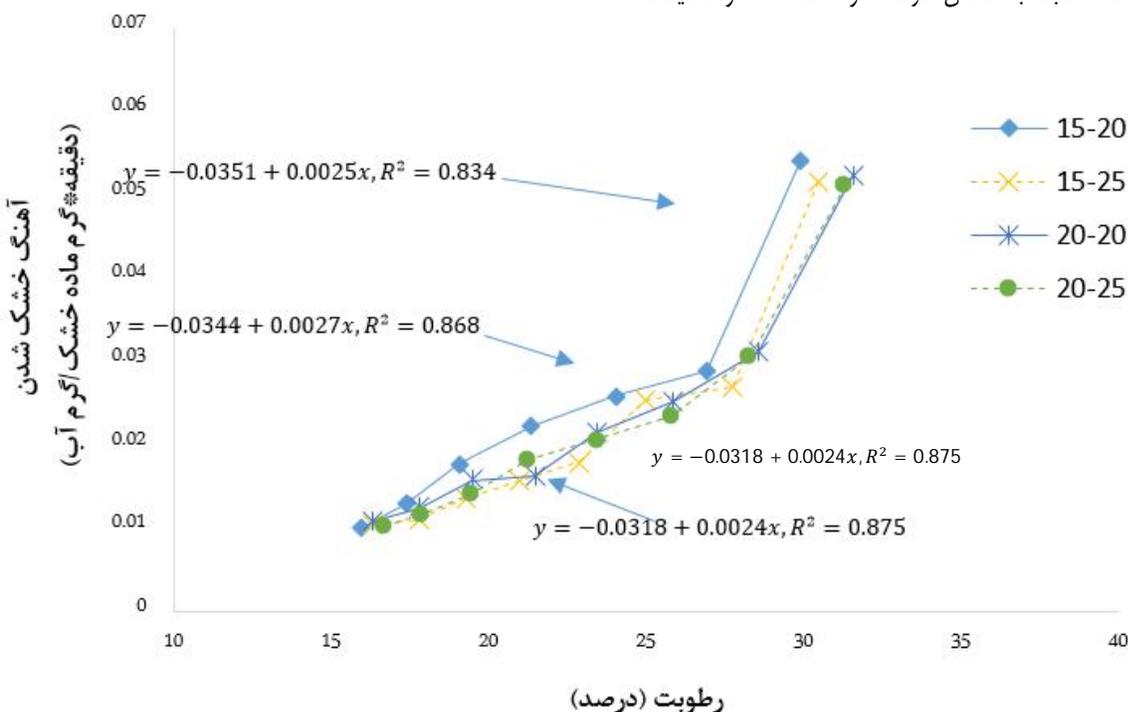


شکل 2- تاثیر تغییرات مدت بخاردهی و دمای هوا بر آهنک خشک شدن شلتوک در سرعت هوای 15 متر بر ثانیه.



شکل 3- تاثیر تغییرات سرعت و دمای هوا بر آهنک خشک شدن شلتوک در مدت بخاردهی 20 دقیقه.

قبلی چنین نتیجه‌ای گزارش شده است (Demont et al., 2012). لازم به ذکر است تغییرات سرعت هوا در مدت بخاردهی 25 دقیقه نسبت به 20 دقیقه متفاوت بود. با افزایش دما و سرعت هوا در مدت بخاردهی 25 دقیقه آهنگ خشک شدن افزایش یافت با این حال سرعت خشک شدن شلتوک بیشتر تحت تاثیر تغییراتی دمایی بود.



شکل 4- تاثیر تغییرات مدت بخاردهی و سرعت هوا بر آهنگ خشک شدن شلتوک در دمای 100 درجه سلسیوس.

همانطور که از جدول 2 پیدا است کاهش مدت بخاردهی و سرعت هوا موجب افزایش مقدار میانگین شاخص سفیدی شد ولی بین سطوح مختلف اختلاف معنی‌داری یافت نشد. همچنین با افزایش دمای از 90 به 100 درجه سلسیوس شاخص سفیدی به‌طور میانگین از 59/520 به 54/889 کاهش یافت. در این حالت بیشترین سفیدی مربوط به دما 90 درجه سلسیوس با مقدار میانگین 59/520 و کمترین سفیدی با مقدار 54/549 مربوط به دمای 110 درجه سلسیوس بود. ضمناً مشاهده گردید که بین دمای 90 درجه سلسیوس و دو دمای 100 و 110 درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری در سطح 5% وجود دارد، با این حال بین دماهای 100 و 110 درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری یافت نشد. همچنین جدول 2 نشان داد که با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه مقدار میانگین اختلاف رنگ از 36/584 به 37/898 افزایش می‌یابد ولی اختلاف معنی‌داری بین آنها نیست. افزایش دما از 90 به 100 درجه سلسیوس موجب افزایش مقدار اختلاف رنگ از 34/029 به

همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است با تغییر سرعت هوا از 15 به 20 متر بر ثانیه در دمای 90 درجه سلسیوس مقدار شیب 0/0001 کاهش یافت و با افزایش دما از 90 به 110 درجه سلسیوس در سرعت هوای 20 متر بر ثانیه شیب خط تا 0/0008 افزایش پیدا کرد که این نتیجه نشان داد افزایش دما تاثیر بیشتری بر آهنگ خشک شدن توده شلتوک‌ها نسبت به کاهش سرعت هوا داشته است و تحقیقات

شکل 4 نشان‌دهنده تاثیر تغییرات سرعت هوا و مدت بخاردهی بر آهنگ خشک شدن در دمای 100 درجه سلسیوس می‌باشد. این روند برای سایر دماها (90 و 110 درجه سلسیوس) نیز مشاهده گردید. نتایج نشان داد در سرعت هوای 15 متر بر ثانیه، با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه مقدار شیب خشک کردن از 0/0027 به 0/0025 کاهش یافت ولی با افزایش سرعت هوا از 15 به 20 متر بر ثانیه در مدت بخاردهی 20 دقیقه شیب خط به مقدار 0/0003 افزایش یافت. این نتایج حاکی از نفوذ و جذب رطوبت در دانه است که زمان بیشتری در مرحله خشک شدن به‌خود اختصاص می‌دهد (Ramalingam, & Anthoni, 1996). نتایج حاصل از تحلیل واریانس در جدول 1 نشان داد که مقادیر متغیر دما بر اختلاف رنگ و شاخص سفیدی در سطح 1% معنی‌دار بود؛ ولی اثر مدت بخاردهی و سرعت هوا معنی‌دار نبود. جدول 2 نتایج آزمون مقایسه میانگین WI و EΔ در سطوح مختلف مدت بخاردهی، دما و سرعت هوا را نشان می‌دهد.

مقدار 60/787 بود و کمترین شاخص سفیدی برای مدت بخاردهی 25 دقیقه و دمای 100 درجه سلسیوس با مقدار میانگین 53/253 به دست آمد که اثر مدت بخاردهی را نسبت به دما نشان می‌دهد. زمان بخاردهی بیشتر و دمای بیشتر باعث قهوه‌ای تر شدن برنج می‌شود در حقیقت یک فرآیند پخت انجام می‌گیرد که رنگ محصول را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد و این تغییرات دما و بخاردهی در تحقیقات قبلی نیز اثرات مشابه را نشان می‌دهد (Lamberts et al., 2006 a,b). با توجه به شکل 5- ب اختلاف رنگ با افزایش مدت بخاردهی و دما افزایش یافت. بجز در دمای 110 درجه سلسیوس با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه اختلاف رنگ از 39/148 به 37/779 کاهش یافت و این نشان می‌دهد که افزایش دما تاثیرات بیشتری نسبت به مدت بخاردهی بر اختلاف رنگ دارد (Lamberts et al., 2006 a,b).

در این حالت بیشترین اختلاف رنگ برای دما 110 درجه سلسیوس با مقدار میانگین 38/967 بود و کمترین این مقدار 34/029 با دمای 90 درجه سلسیوس حاصل شد. همانطور که پیداست بین دماهای 100 و 110 درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری نبود ولی بین دماهای 90 و 100 درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری در سطح 5% وجود داشت. یکی دیگر از متغیرهای مورد بررسی بر روی اختلاف رنگ سرعت هوا بود. با افزایش سرعت از 15 به 20 متر بر ثانیه مقدار میانگین اختلاف رنگ از 38/973 به 37/509 کاهش یافت ولی تفاوت معنی‌داری حاصل نشد.

شکل 5 اثر متقابل دما بر شاخص سفیدی و اختلاف رنگ را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل 5- الف پیداست به‌طور کلی با افزایش مدت بخاردهی و دما سفیدی برنج نیم‌پز کاهش یافت. بیشترین شاخص سفیدی برای مدت بخاردهی 20 دقیقه با دمای 90 درجه سلسیوس با

جدول 1- نتایج تحلیل واریانس تاثیر مدت بخاردهی، دما و سرعت هوا بر WI و ΔE.

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
ΔE	WI		
15/534 ^{n.s}	13/271 ^{n.s}	1	مدت بخاردهی (a)
4/862 ^{n.s}	4/248 ^{n.s}	4	خطا a
93/029 ^{**}	92/552 ^{**}	2	دما (b)
2/585 ^{n.s}	3/094 ^{n.s}	1	سرعت هوا (c)
30/894 [*]	22/997 [*]	2	ab
46/986 [†]	42/315 [†]	1	ac
77/508 ^{**}	75/496 ^{**}	2	bc
14/902 ^{n.s}	14/866 ^{n.s}	2	abc
8/778	8/428	20	خطا
7/956	5/155		ضریب تغییرات

* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 5%، ** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 1% و n.s عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف.

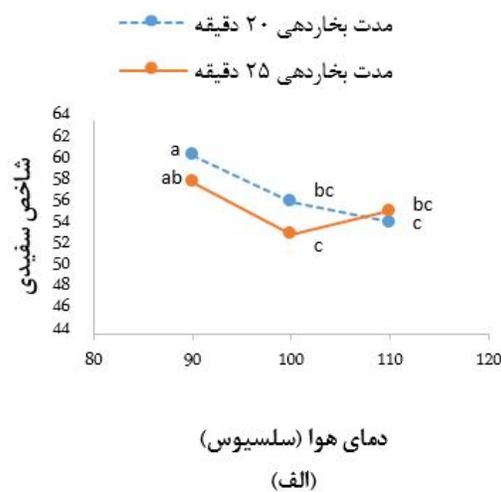
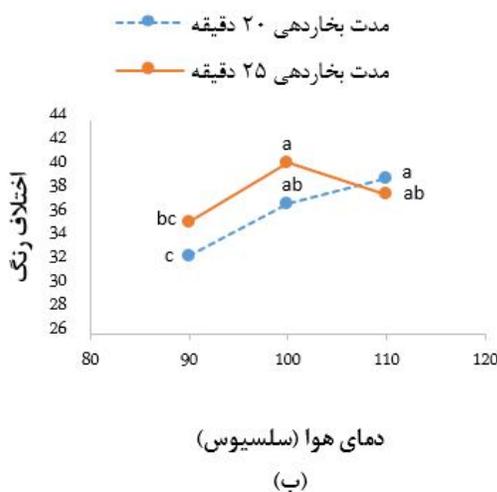
جدول 2- نتایج آزمون مقایسه میانگین WI و ΔE در سطوح مختلف مدت بخاردهی، دما و سرعت هوا.

تیمارها	مدت بخاردهی (دقیقه)		دما (سلسیوس)				سرعت هوا (متر بر ثانیه)
	20	25	90	100	110	15	
میانگین WI	56/613 ^a	56/026 ^a	59/520 ^a	54/889 ^b	54/549 ^b	56/927 ^a	
میانگین ΔE	36/584 ^a	37/898 ^a	34/029 ^b	38/727 ^a	38/968 ^a	37/509 ^a	

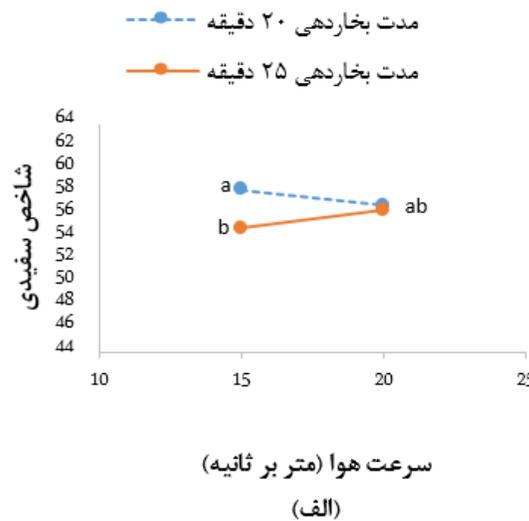
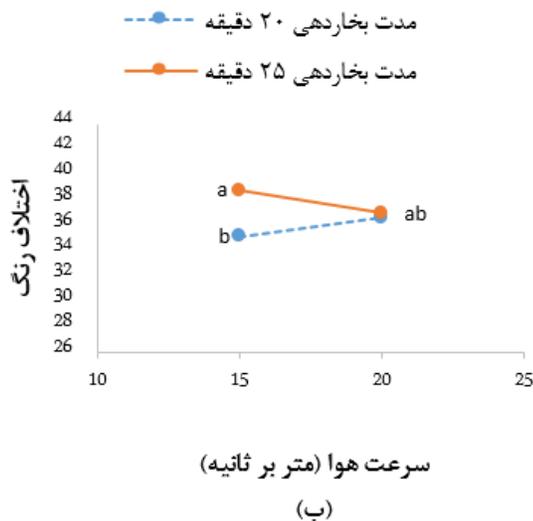
a و b: اختلاف معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

از 35/173 به 38/772 افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که اثرات متقابل سرعت هوا و مدت بخاردهی بر روی اختلاف رنگ با اطمینان 95% معنی‌داری شد. انتقال جرم در رطوبت‌های بالا زمان بیشتری به خود اختصاص می‌دهد و در فرآیند خشک شدن سبب اختلاف رنگ بیشتر محصول می‌شود (Chen, et al., 1997; Sripinyowanich, et al., 2011).

اثر متقابل سرعت هوا و مدت بخاردهی بر روی شاخص سفیدی در شکل 6- الف نشان داده شده است. افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه در سرعت 15 متر بر ثانیه موجب کاهش میانگین سفیدی از 58/304 به 54/922 شد که اختلاف معنی‌داری را در سطح 5% نشان داد. از شکل 6- ب ملاحظه گردید در سرعت هوای 15 متر بر ثانیه میانگین اختلاف رنگ با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه



شکل 5- رابطه بین شاخص سفیدی در دماهای مختلف (الف)- رابطه بین اختلاف رنگ در دماهای مختلف (ب)



شکل 6- رابطه بین شاخص سفیدی در سرعت‌های مختلف (الف)- رابطه بین اختلاف رنگ در سرعت‌های مختلف (ب).

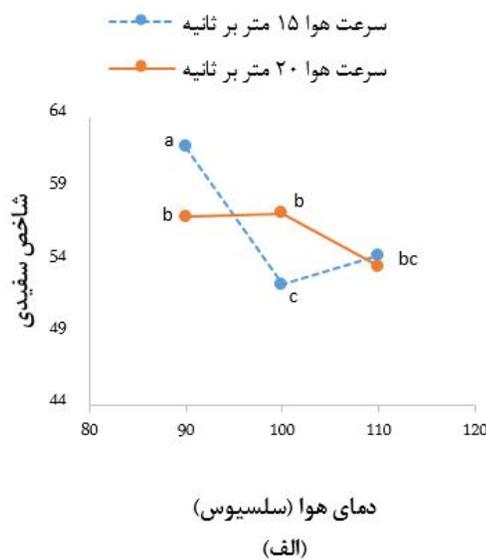
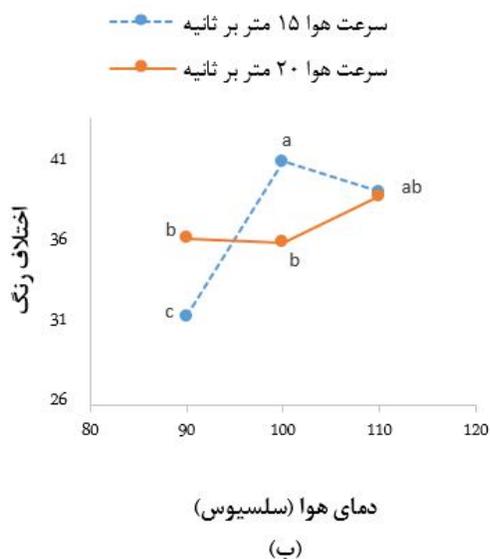
سلسیوس به‌طور میانگین از 61/952 به 52/421 کاهش یافت. اختلاف رنگ در سرعت هوا 15 متر بر ثانیه با افزایش دما از 90 به 100 درجه سلسیوس از مقدار میانگین 31/590 به 41/254 افزایش یافت با این حال در سرعت هوا 20 متر بر ثانیه این افزایش دما اختلاف معنی‌داری را نشان نداد.

نتایج شکل 8 نشان داد که بیشترین سفیدی 63/884 در دما 90 درجه سلسیوس، سرعت هوا 15 متر بر ثانیه و مدت بخاردهی 20 دقیقه حاصل شد. کمترین سفیدی 48/537 در مدت بخاردهی 25 دقیقه، سرعت هوا 15 متر بر ثانیه و دما 100 درجه سلسیوس به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که سرعت انتقال جرم (رطوبت و هوا) از لایه‌های

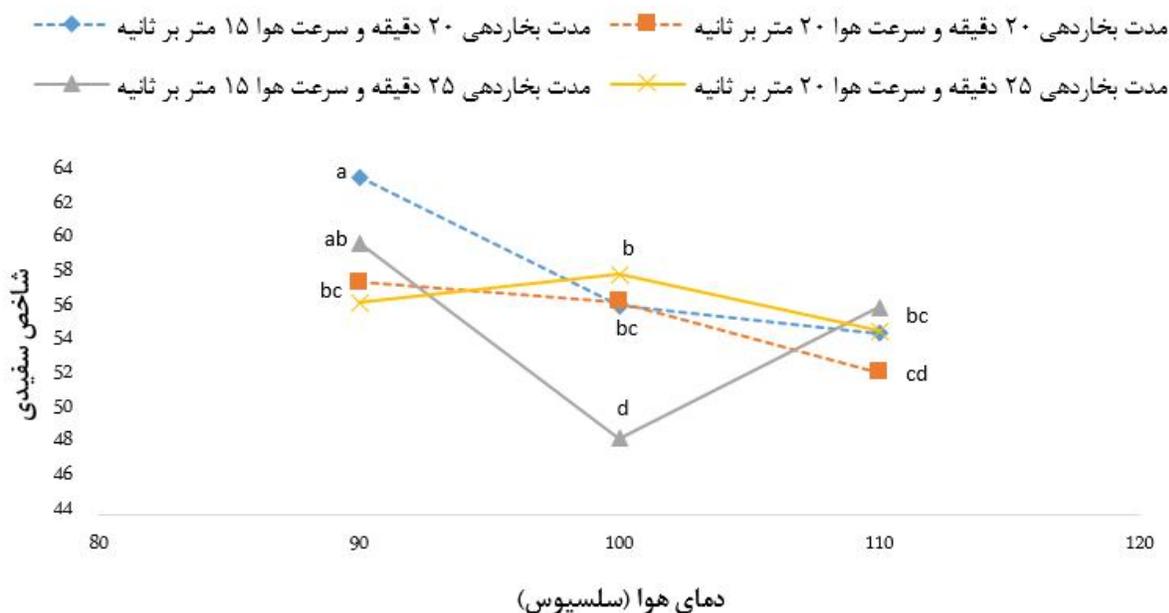
همانطور که از شکل 7 پیداست اثرات متقابل دما و سرعت هوا به‌ترتیب بر شاخص سفیدی و اختلاف رنگ با درجه اطمینان 95% معنی‌دار بود. با افزایش سرعت هوا از 15 به 20 متر بر ثانیه در دمای 90 درجه سلسیوس مقدار میانگین سفیدی از 61/952 به 57/088 کاهش یافت و این نشان می‌دهد که سرعت هوا زمان توقف و نفوذ دما و تغییر شاخص سفیدی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد (Sareepuang *et al.*, 2008). به‌طور کلی نتایج نشان داد که شاخص سفیدی با افزایش دما کاهش می‌یابد. افزایش دما باعث قهوه‌ای شدن بیشتر دانه برنج می‌شود (Pruengam *et al.*, 2014). به‌عنوان مثال در سرعت هوا 15 متر بر ثانیه شاخص سفیدی با افزایش دما از 90 به 100 درجه

بخاردهی 20 دقیقه بود و بیشترین این مقدار 45/386 در دما 100 درجه سلسیوس، سرعت هوای 15 متر بر ثانیه و مدت بخاردهی 25 دقیقه حاصل شد.

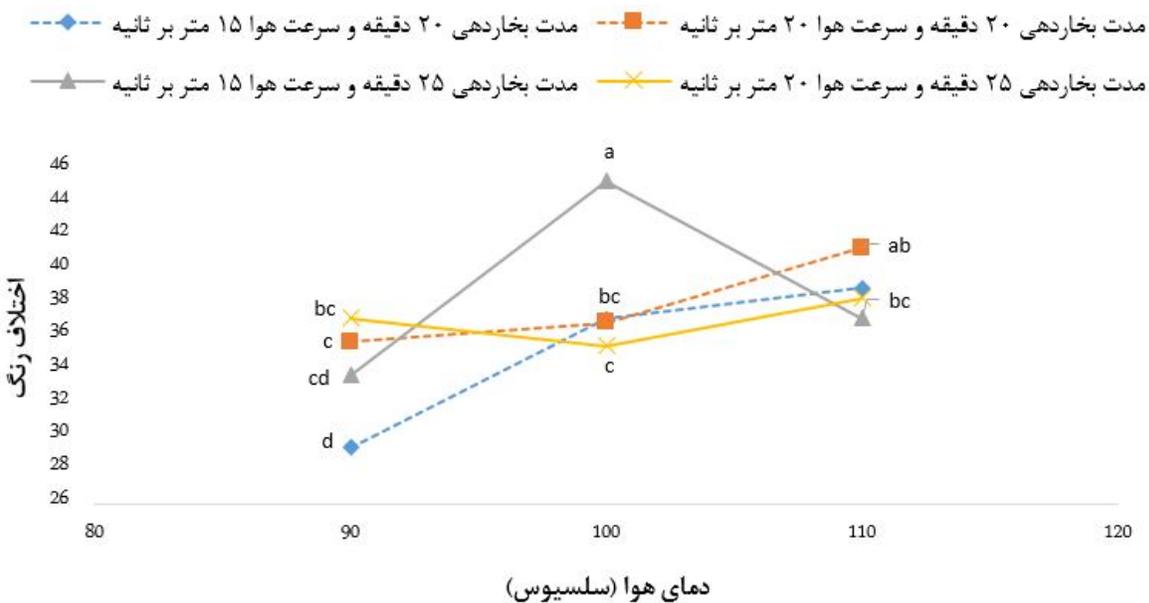
درونی دانه در حال خشک شدن رنگ آن را در سطح قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهد و با تغییر متغیرهای مذکور می‌توان به رنگ مورد نظر دست یافت (Maskan, 2001; Ramalingam & Anthoni, 1996). از نتایج شکل 9 ملاحظه شد که کمترین اختلاف رنگ 29/432 برای دما 90 درجه سلسیوس، سرعت هوای 15 متر بر ثانیه و مدت



شکل 7- رابطه بین شاخص سفیدی در سرعت هوا و دماهای مختلف (الف)- رابطه بین اختلاف رنگ در سرعت هوا و دماهای مختلف (ب).



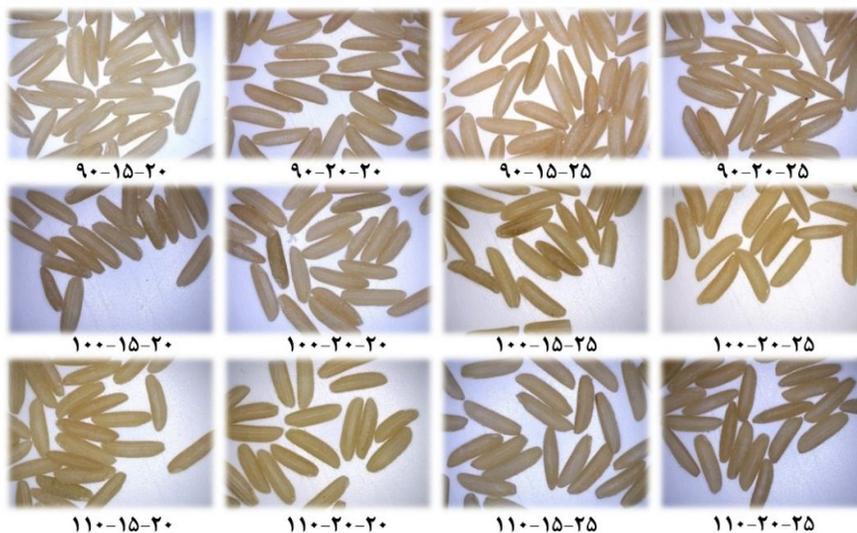
شکل 8- رابطه بین شاخص سفیدی، دما و سرعت هوا در مدت بخاردهی مختلف



شکل 9- رابطه بین اختلاف رنگ، دما و سرعت هوا در مدت بخاردهی مختلف

جدول 3- اطلاعات آماری برای شاخص سفیدی و اختلاف رنگ.

متغیر	تعداد	میانگین	انحراف معیار	مجموع	کمترین	بیشترین
شاخص سفیدی (WI)	36	56/319	4/329	2027	46/040	66/470
اختلاف رنگ (ΔE)	36	37/241	4/449	1341	26/846	47/897



شکل 10- تغییرات رنگ در نمونه‌های مختلف به ترتیب دما (سلسیوس)، سرعت هوا (متر بر ثانیه) و مدت بخاردهی (دقیقه).

برخلاف اثرات مدت بخاردهی و سرعت هوا بر اختلاف رنگ و شاخص سفیدی تاثیر معنی دار داشت و با کاهش سرعت هوا، مدت بخاردهی و دما برنج نیم‌پز شده سفیدتری با اختلاف رنگ بیشتری به دست خواهد آمد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از پردیس ابوریحان دانشگاه تهران به خاطر حمایت‌های بی‌دریغ کمال تشکر و قدردانی را داریم .

افزایش مدت بخاردهی نسبت به افزایش سرعت هوا موجب اختلاف رنگ بیشتر شد. این نتایج نشان داد که با کاهش سرعت هوا و دما، برنج نیم‌پز سفیدتری با اختلاف رنگ کمتری به دست خواهد آمد. تحقیقات مشابه نیز نتایج را تایید می‌کنند (Pruengam *et al.*, 2014). جدول 3 اطلاعات آماری برای شاخص سفیدی و اختلاف رنگ را نشان می‌دهد همچنین همبستگی بین شاخص سفیدی و اختلاف رنگ همبستگی بالایی بود ($r = -0/998$) به دست آمد. شکل 10 تغییر رنگ نمونه‌های مختلف برنج نیم‌پز در دما، سرعت و مدت بخاردهی مختلف نشان می‌دهد

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که آهنگ خشک شدن برنج نیم‌پز با کاهش رطوبت به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. تغییرات دمایی

منابع

- Anonymous. (2015). Moisture content and grain quality. <http://riceknowledge.bank.irri.org>
- Akpinarm E., Bicer., Y & Yildiz, C. (2003). Thin layer drying of red pepper. *Journal of food engineering*, 59(1), 99-104.
- Bhattacharya, K.R., & Rao, P.V. (1966). Processing conditions and milling yield in parboiling of rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 14(5), 473-475.
- Bhattacharya, K.R., & Swamy, Y.M. Indudhara. (1967). Conditions of drying parboiled paddy for optimum milling quality. *Cereal Chemistry*, 44(11), 592-600.
- Bhattacharya, K.R. (1985). Parboiling of rice. *Rice chemistry and technology*, 289-348.
- Bhattacharya, K.R. (2011). Rice quality: a guide to rice properties and analysis: *Elsevier*.
- Chen, H, Siebenmorgen, T.J, & Marks, B.P. (1997). Relating drying rate constant to head rice yield reduction of long-grain rice. *Transactions of the ASAE*, 40(4), 1133-1139.
- Demont, Matty, Zossou, Espérance, Rutsaert, Pieter, Ndour, Maimouna, Van Mele, Paul, & Verbeke, Wim. (2012). Consumer valuation of improved rice parboiling technologies in Benin. *Food Quality and Preference*, 23(1), 63-70.
- Gardon, Robert, & Akfirat, J Cahit. (1965). The role of turbulence in determining the heat-transfer characteristics of impinging jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 8(10), 1261-1272.
- Islam, MR, Shimizu, N, & Kimura, T. (2004). Energy requirement in parboiling and its relationship to some important quality indicators. *Journal of Food Engineering*, 63(4), 433-439.
- Juliano, B.O. (1979). The chemical basis of rice grain quality. *Chemical aspects of rice grain quality*, 69-84.
- Kam, Karrie, Arcot, Jayashree, & Ward, Rachelle. (2012). Fortification of rice with folic acid using parboiling technique: Effect of parboiling conditions on nutrient uptake and physical characteristics of milled rice. *Journal of Cereal Science*, 56(3), 587-594.
- Lamberts, Lieve, Brijs, Kristof, Mohamed, Rasty, Verhelst, Neelke, & Delcour, Jan A. (2006a). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(26), 9924-9929.
- Lamberts, Lieve, Bie, E De, Derycke, Veerle, Veraverbeke, WS, De Man, W, & Delcour, JA. (2006b). Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice. *Cereal chemistry*, 83(1), 80-85.
- Luh, Bor Shiun. (1980). Rice: production and utilization: AVI Publishing Co., Inc.
- Maskan, Medeni. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 169-175.
- Mujumdar, Arun S. (2014). Handbook of industrial drying: CRC Press.
- Munson, Bruce Roy, Young, Donald F, & Okiishi, Theodore Hisao. (1990). Fundamentals of fluid mechanics: New York.
- Nemati, M.C., Chegini, Gh. R. , & Khazaei, J. (2010). Design, Development and Evaluation of a Jet Impingement Dryer. Msc. Dissertation, In Department of Agrotechnology Engineering, College Of Aboureyhan, University of Tehran.Iran. (in Farsi)
- Pruengam, Pimpan., Soponronnarit, Somchart., Prachayawarakorn, Somkiat., & Devahastin, Sakamon. (2014). Rapid drying of parboiled paddy using hot air impinging stream Dryer. *Drying Technology*, 32(16), 1949-1955.
- Ramalingam, N, & Raj, S Anthoni. (1996). Studies on the soak water characteristics in various paddy parboiling methods. *Bioresource technology*, 55(3), 259-261.
- Rickard, A, Wuerthner, J, & Barret, G. (1993). Corn snacks: full speed ahead. *Snack World*, 3, 278-280.

- Sareepuang, K, Siriamornpun, S, Wiset, L, & Meeso, N. (2008). Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(4), 409-415.
- Sripinyowanich, Jiraporn, & Noomhorm, Athapol. (2011). A new model and quality of unfrozen and frozen cooked rice dried in a microwave vibro-fluidized bed dryer. *Drying Technology*, 29(7), 735-748.
- Varilek, P, & Walker, CE. (1984). Baking and ovens-history of heat technology. IV. Bakers digest.

Effects of steaming time and impinging jet drying on color change of parboiled rice

Gh. R. Chegini^{1*}, I. Hasanzadeh²

Received: 2016.09.25

Accepted: 2019.04.14

²Introduction: One of the common rice in Asia and Africa is parboiled (semi-cooked) rice. In parboiled rice, three processes will be added in comparison to white rice which includes: soaking, steaming and drying. The parboiled rice has a different color than white rice, which is probably the parboiled rice brown color is due to the diffusion of shell color in the grain's endosperm. Changes in the color of parboiled rice increase with increasing soaking temperature, increasing the duration of steaming and also increasing the hydration pressure of the grain. Increasing the temperature of the water during the soaking stage increases the absorption of shell color and absorption of colored materials, including the enrichment of folic acid, which has a negative effect on the whiteness of rice grain. The important process of parboiled rice production is steaming and drying which change color and transfer residual moisture of rice. One of the drying methods that is being used in food and agriculture industry is Air Jet Impingement Drying (AJID) by rapid drying rate and high performance. In air jet impingement dryer, hot air passes in up and down of product with high pressure as heat and mass transfer increases as drying time is decreased. In this research the effect of drying parboiled rice using air jet impingement dryer, drying kinetics with whiteness index and color difference was evaluated.

Materials and methods: Samples were steamed after soaking for 20 and 25 minutes and at temperatures of 90, 100 and 110°C with air velocity of 15 and 20 m/s were dried. The quantitative indicators CIELAB color system (L, a and b) were measured. The Air jet dryer contained a 3 kW air fan by air speed of 1-28 m/s, a 13.5 kW heater by air temperature of 250°C, an inverter for control and measuring of air velocity and K type thermocouple. For control and measuring of air velocity two plenum chamber (a plate for direction of air to nozzle) used by a control valve, temperature circuit control, an aluminum drying chamber and two nozzles. Fan transfer air to heater then transfer to plenum chamber then to nozzle at final the hot air directly contact on product.

Results and discussion: The results showed that with increase of air velocity from 15 m/s to 20 m/s in 90°C air temperature average value of whiteness index was decrease from 61.952 to 57/088. With steaming time of 25 minutes, air velocity 15 m/s and the temperature 100 °C minimum whiteness index was 48.537. The maximum average value of whiteness index and the minimum average value of color differences were 63.884 and 29.432, respectively was obtained with steaming time 20 minutes, air velocity 15 m/s and the temperature 90 °C. By increase of temperature and air velocity in steaming time 25 minutes were drying rate increases, in this condition rice drying rate more effected by change temperature. The results showed that change of temperature had significant effect on color in comparison to steaming time and air velocity. With decreases of parameters: air velocity, steaming time and air temperature parboiled rice samples with higher whiteness index was obtained. The results of statistical analysis showed that dryer air temperature have more effects than steaming time and air velocity parameters on the color changes of parboiled rice. Also drying rate decreased by moisture reduction and Increasing of both temperature and air velocity were significant effective in color index. The results of regression analysis showed that drying rate significantly decreases with decrease of moisture.

Keywords: Jet Impingement dryer, parboiled rice, Whiteness Index, Color Difference

1 and 2. Associate Professor and MSc Student, Mechanics of Biosystems Engineering, Agrotechnology Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, IRAN.

*(Corresponding Author: chegini@ut.ac.ir)

Contents

Optimization of phenolic compounds extraction of Ziziphus Jujuba using supercritical fluid of carbon dioxide and measurement of its antioxidant activity	541
F. Farzaneh Moghaddam, J. Sargolzaei, Sh. Bolourian	
Evaluation and comparison of Sensory, physicochemical and rheological properties of labane formulation produced by wheyless process using principal component analysis (PCA) and partial least squares regression (PLS regression)	563
M. Kashaninejad, M. Najaf Najafi, M. Ghods Rohani, M. Kashaninejad	
Geometric and morphological characteristics measurement of pistachios using the machine vision	575
S. M. Emam, A. M. Rezaiepoor, A. Foorginejad	
The importance of solvent in the aqueous extraction of oil bodies from rapeseed	582
F. Saadat, S. H. Razavi, H. Alizadeh	
Optimization of Cajanus Cajan's antioxidant and nutritional characteristics during hydrolysis process by pepsin using response surface method	596
E. Ranjbar Nadamani, A. R. Sadeghi Mahoonak, M. Ghorbani, Sh. Jakobson, V. Khori	
The effect of film and coating of chitosan with vacuum packaging on quality characteristics of Spangled emperor (<i>Lethrinus nebulosus</i>) filets stored at 4°C	611
M. Karimi Rezaabad, A. Khodanazary, S. M. Hosseini	
The Effect of Lactose Reduction on the Acetaldehyde Amount and Organoleptic Properties of Doogh as a Fermentative Product Using Ultrafiltration	622
R. Mobasserfar, S. A. Mortazavi	
Development, assessment and evaluation of a combined infrared and hot-air dryer to determine its performance characteristics during banana slice drying	634
P. Ahmadi Gheshlagh, S. S. Seiedlou, H. Nalbani	
Optimization of the Formula and Process of Donut Enriched with Bagasse	647
M. Darapoor, B. Nasehi, H. Barzegar, H. Joyandeh	
Pectin extraction from eggplant peel using microwave and evaluation of its properties	665
S. Karamzadeh, S. Ansari	
The Effects of Washing the Minced of Silver carp (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>) in the presence of Hydrogen peroxide on Rheological Properties of produced Surimi	677
N. Badfar, S. A. Jafarpour, M. Abdolahi	
Effects of steaming time and impinging jet drying on color change of parboiled rice	690
Gh. R. Chegini, I. Hasanzadeh	

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 15

No. 5

2019

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
Ghodduzi, 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.15 No.5

2019

ISSN:1735-4161

Contents

- Optimization of phenolic compounds extraction of Ziziphus Jujuba using supercritical fluid of carbon dioxide and measurement of its antioxidant activity 541**
F. Farzaneh Moghaddam, J. Sargolzaei, Sh. Bolourian
- Evaluation and comparison of Sensory, physicochemical and rheological properties of labane formulation produced by wheyless process using principal component analysis (PCA) and partial least squares regression (PLS regression) 563**
M. Kashaninejad, M. Najaf Najafi, M. Ghods Rohani, M. Kashaninejad
- Geometric and morphological characteristics measurement of pistachios using the machine vision 575**
S. M. Emam, A. M. Rezaiepoor, A. Foorginejad
- The importance of solvent in the aqueous extraction of oil bodies from rapeseed 582**
F. Saadat, S. H. Razavi, H. Alizadeh
- Optimization of Cajanus Cajan's antioxidant and nutritional characteristics during hydrolysis process by pepsin using response surface method 596**
E. Ranjbar Nadamani, A. R. Sadeghi Mahoonak, M. Ghorbani, Sh. Jakobson, V. Khorri
- The effect of film and coating of chitosan with vacuum packaging on quality characteristics of Spangled emperor (Lethrinus nebulosus) fillets stored at 4°C..... 611**
M. Karimi Rezaabad, A. Khodanazary, S. M. Hosseini
- The Effect of Lactose Reduction on the Acetaldehyde Amount and Organoleptic Properties of Doogh as a Fermentative Product Using Ultrafiltration 622**
R. Mobasserfar, S. A. Mortazavi
- Development, assessment and evaluation of a combined infrared and hot-air dryer to determine its performance characteristics during banana slice drying 622**
P. Ahmadi Gheshlagh, S. S. Seiedlou, H. Nalbandi
- Optimization of the Formula and Process of Donut Enriched with Bagasse..... 647**
M. Darapoor, B. Nasehi, H. Barzegar, H. Joyandeh
- Pectin extraction from eggplant peel using microwave and evaluation of its properties..... 665**
S. Karamzadeh, S. Ansari
- Continue Content in cover**