مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

نشریه علمی پژوهشی

پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

شاپا: ۰۹۳۷-۲۲۵۲ جلد ۷، شماره ۲، سال ۱۳۹۷

فهرست مطالب

اثر لاکتوفرین شیر شتر ریزپوشانی‌شده با کمپلکس‌های ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر ـ پکتین بر رشد و زنده‌مانی ردهٔ سلولی استئوبلاست MG63 ..... ۱۱۹

معصومه راعی، فخری شهیدی، مجید فرهودی، سیدمهدی جعفری، علی رافع

تولید و بهینه‌سازی مکمل فیبری فراسودمند بر پایهٔ فراورده‌های جانبی توسط فناوری اکستروژن ۱۳۳

سارا نیاستی، محمدحسین حداد خداپرست، الناز میلانی، آرش کوچکی

اثر خواص ضداکسیداسیونی عصارهٔ جلبک قهوه‌ای روی ماندگاری و خواص حسی ناگت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی نگهداری در فریزر با دمای ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد ۱۴۹

امید اسدی فارسانی، معظمه کردجزی، بهاره شعبانپور، سیدمهدی اجاق، انیسه جمشیدی

مقایسهٔ روش‌های مختلف شکست سلولی و استخراج اسید چرب از ریزجلبک *Dunaliella Salina* ۱۶۷

فرزانه مهرابی، سیدعلی جعفرپور، قربانعلی نعمت‌زاده

بررسی میزان برشته‌کردن بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، عملکردی، جریان‌پذیری، آنتی‌اکسیدانی و حسی آرد سویای برشته‌شده به‌عنوان جایگزین کاکائو ۱۷۷

الهام زایرزاده، مصطفی مظاهری طهرانی، سمیرا یگانه‌زاد، محبت محبی

بررسی اثر جایگزینی آرد سویا و عدس بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی دونات تخمیری ۱۹۷

ماندانا خورسند، مجید علی‌آبادی، جلیل جراحی فریز

ارزیابی پارامترهای کیفی و راندمان خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای در خشک‌کن هیبریدی مایکروویو ـ جریان هوای گرم ۲۱۳

امین عمری، ناصر بهروزی خزاعی، فاروق شریفیان

ساخت و بررسی عملکرد غشای پلیمری ELVALOY®4170 جهت جداسازی و تغلیظ اسیدهای چرب امگا-۳ ..... ۲۲۵

سمانه قاسمیان، رضا عابدینی

نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

شماره پروانه: ۹۲/۲۰۵۱۹ **جلد ۷، شماره ۲، سال ۱۳۹۷**

صاحب امتیاز: پژوهشکده علوم و صنایع غذایی
مدیر مسئول: دکتر رسول کدخدایی — دانشیار گروه نانوفناوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
سردبیر: دکتر سیدعلی مرتضوی — استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر داخلی: دکتر سارا ناجی طبسی — استادیار گروه نانوفناوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
کارشناس اجرایی: طیبه شجاعی دوین

هیأت تحریریه:

دکتر سیدعلی مرتضوی	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر فخری شهیدی	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر قدیر رجب‌زاده	دانشیار گروه نانو فناوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر محمدنقی اشتیاقی	استاد گروه مهندسی شیمی دانشکده مهندسی دانشگاه ماهیدول تایلند
دکتر ایران عالم‌زاده	استاد گروه مهندسی شیمی صنایع غذایی دانشگاه صنعتی شریف
دکتر سلیمان عباسی	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
دکتر بی‌بی صدیقه فضلی‌بزاز	استاد گروه شیمی دارویی دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد
دکتر سیدمحمود موسوی	استاد گروه مهندسی شیمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر رسول کدخدایی	دانشیار گروه نانوفناوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر مرضیه حسینی‌نژاد	دانشیار گروه زیست‌فناوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر حمید بهادرقدوسی	عضو هیأت علمی دانشگاه متروپولیتن لندن
دکتر عسگر فرحناکی	عضو هیأت علمی دانشگاه چارلز استوارت استرالیا
دکتر سیدمهدی جعفری	استاد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

ناشر: مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
شمارگان:
قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال (دانشجویان ۱۲۵۰۰۰ ریال)
نشانی: مشهد، کیلومتر ۱۲ بزرگراه مشهد- قوچان، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، صندوق پستی: ۹۱۸۹۵/۱۵۷/۳۵۶
تلفن: ۹-۳۵۴۲۵۳۲۸ – ۰۵۱
پایگاه اینترنتی: http://journals.rifst.ac.ir
آدرس الکترونیکی: jrifst@rifst.ac.ir

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

عنوان مقالات **صفحه**

اثر لاکتوفرین شیر شتر ریزپوشانی‌شده با کمپلکس‌های ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر–پکتین بر رشد و زنده‌مانی ردهٔ سلولی استئوبلاست MG63 ..... ۱۱۹

معصومه راعی، فخری شهیدی، مجید فرهودی، سیدمهدی جعفری، علی رافع

تولید و بهینه‌سازی مکمل فیبری فراسودمند بر پایهٔ فراورده‌های جانبی توسط فناوری اکستروژن ۱۳۳

سارا نیاستی، محمدحسن حداد خداپرست، الناز میلانی، آرش کوچکی

اثر خواص ضداکسیداسیونی عصارهٔ جلبک قهوه‌ای روی ماندگاری و خواص حسی ناگت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی نگهداری در فریزر با دمای ۱۸– درجهٔ سانتی‌گراد ۱۴۹

امید اسدی فارسانی، معظمه کردجزی، بهاره شعبانپور، سیدمهدی اجاق، انیسه جمشیدی

مقایسهٔ روش‌های مختلف شکست سلولی و استخراج اسید چرب از ریزجلبک *Dunaliella Salina* ۱۶۷

فرزانه مهرابی، سیدعلی جعفرپور، قربانعلی نعمت‌زاده

بررسی میزان برشته‌کردن بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، عملکردی، جریان‌پذیری، آنتی‌اکسیدانی و حسی آرد سویای برشته‌شده به‌عنوان جایگزین کاکائو ۱۷۷

الهام زایرزاده، مصطفی مظاهری طهرانی، سمیرا یگانه‌زاد، محبت محبی

بررسی اثر جایگزینی آرد سویا و عدس بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی دونات تخمیری ۱۹۷

ماندانا خورسند، مجید علی‌آبادی، جلیل جراحی فریز

ارزیابی پارامترهای کیفی و راندمان خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای در خشک‌کن هیبریدی مایکروویو ـ جریان هوای گرم ۲۱۳

امین عمری، ناصر بهروزی خزاعی، فاروق شریفیان

ساخت و بررسی عملکرد غشای پلیمری ELVALOY®4170 جهت جداسازی و تغلیظ اسیدهای چرب امگا–۳ ..... ۲۲۵

سمانه قاسمیان، رضا عابدینی

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۱۳۲-۱۱۹

JRIFST

اثر لاکتوفرین شیر شتر ریزپوشانی‌شده با کمپلکس‌های ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر-پکتین بر رشد و زنده‌مانی ردهٔ سلولی استئوبلاست MG63

معصومه راعی[۱]، فخری شهیدی[۲*]، مجید فرهودی[۳]، سیدمهدی جعفری[۴]، علی رافع[۵]

۱- دانشجوی دکتری صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (niloofar1373@yahoo.com)
۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات واکسن و سرم سازی رازی ـ شعبه شمال شرق، مشهد، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی مواد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۵- دانشیار، گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۳۱

واژه‌های کلیدی
آب‌پنیر ایزوله
استئوبلاست
پکتین
لاکتوفرین
نوشیدنی

چکیده

لاکتوفرین یکی از مهم‌ترین ترکیبات زیست‌فعال بشمار می‌رود که قادر به افزایش فعالیت سیستم ایمنی و استخوان‌سازی می‌باشد. اما این ترکیب نسبت به استرس‌های محیطی حساس است. ازاین‌رو، تولید نوشیدنی فراسودمند از لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده توسط نانوکمپلکس‌های حاوی پکتین/ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر (WPI/HMP) در پژوهش حاضر موردبررسی قرار گرفت. تشکیل نانوکمپلکس در غلظت کلی بیوپلیمر (w/w) ۰/۴ درصد در pHهای اسیدی (۳، ۳/۵ و ۴) با دو روش اسیدی‌سازی قبل از اختلاط (Pr-A) و اسیدی‌سازی بعد از اختلاط (Po-A) انجام گرفت. به‌منظور ریزپوشانی لاکتوفرین این ترکیب به کمپلکس WPI/HMP که در روش (Pr-A) با نسبت ۲:۱ تشکیل‌شده بود، افزوده شد. نتایج ارزیابی پتانسیل زتا و بررسی قطر ذرات نشان داد که با افزایش نسبت پکتین میزان بار منفی بیشتر شده و اندازهٔ نانوذرات افزایش یافت. بررسی اثر لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده توسط نانوکمپلکس بر ازدیاد سلول استئوبلاست MG63 با استفاده از آزمایش MTT نشان داد که لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده با غلظت ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر رشدی معادل کنترل مثبت داشته و به‌دلیل اینکه نمونهٔ لاکتوفرین خالص با غلظت ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر دارای ۱۶ درصد افزایش رشد نسبت به کنترل مثبت بوده است می‌توان نتیجه گرفت که تقریباً تمامی لاکتوفرین در ترکیب یادشده ریزپوشانی‌شده و یا با اتصال به کمپلکس از دسترس سلول دور مانده است. لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده با غلظت ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر توسط نانوکمپلکس، رشدی معادل ۱۱۳ درصد دارد و ازنظر آماری در سطح لاکتوفرین خالص با غلظت ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر قرار می‌گیرد.

مقدمه

پوکی‌استخوان یک بیماری شایع بوده و مشخصهٔ آن کاهش تودهٔ استخوانی است (García-Montoya *et al.*, 2011). در ایران بیش از ۷۰ درصد زنان و ۵۰ درصد مردان بالای ۵۰ سال به پوکی‌استخوان مبتلا هستند (Aala *et al.*, 2009). استئوپروز[1] یکی از علل اصلی هزینه‌های نگهداری و نیز مرگ در جمعیت

[1] Osteoporosis

کهنسال می‌باشد (Cummings & Melton, 2002) سلول‌های بافت استخوانی از استئوسیت‌ها، استئوبلاست‌ها و استئوکلاست‌ها تشکیل شده‌اند (Garnero *et al*., 2002).

استئوسیت‌ها[1] ستاره‌ای‌شکل‌اند (Tate *et al*., 2004). استئوبلاست‌ها[2] چندضلعی هستند این سلول‌ها در محلی که فعالیت سازندگی استخوان زیاد است به مقدار فراوان حضور دارند (Arnett, 2003). استئوکلاست‌ها[3] مسئول تجزیهٔ مادهٔ زمینهٔ استخوان در هنگام استخوان‌سازی هستند. نقش استئوکلاست‌ها عکس استئوبلاست‌ها می‌باشند (Wang & Mc Cauley, 2011).

کاهش حجم استخوان درنتیجهٔ عدم تعادل بین فعال‌سازی استئوبلاست و استئوکلاست می‌باشد تحقیق‌ها نشان‌داده که لاکتوفرین در استخوان‌سازی مؤثر است، هرچند مکانیسم عمل آن دقیقاً معلوم نشده، ولی نتایج مطالعه‌ها حاکی از این است که لاکتوفرین[4] باعث افزایش تکثیر و تمایز استئوبلاست‌ها و مهار رشد استئوکلاست‌ها می‌گردد (Plotkin *et al*., 1999; Jeney, 2017; Bharadwaj *et al*., 2009). لاکتوفرین بالقوه به‌عنوان یک فاکتور رشد استخوان و یک گلیکوپروتئین[5] باندشوندهٔ به آهن از اعضای خانوادهٔ ترانسفرین[6] است. وزن مولکولی آن حدود ۸۰ کیلودالتون است (Kanwar, *et al*., 2015). غلظت لاکتوفرین در شیر شتر ۶-۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر، شیر انسان (۵-۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و شیر گاو (۰/۴۰-۰/۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) می‌باشد (Du *et al*., 2017). لاکتوفرین دارای فعالیت‌های زیستی مهم ازجمله فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی، ضدقارچ، ضدویروسی، ضدباکتریایی، افزایش فعالیت سیستم ایمنی و استخوان‌سازی می‌باشد (Du *et al*., 2017). امروزه استفاده از لاکتوفرین در دنیا روبه‌افزایش بوده و مکان به‌کارگیری آن در مقیاس تجاری وجود دارد (Tomita *et al*., 2009).

به‌دلیل مزایای زیاد لاکتوفرین استفاده از آن برای جلوگیری از استئوپرز ناشی از افزایش سن در یک نوشیدنی فراسودمند می‌تواند به کاهش خطر در افراد کهنسال کمک نماید. آب‌پنیر به‌دلیل داشتن پروتئین‌های زیست‌فعال، دارای ارزش تغذیه‌ای بالایی است (Ferreira *et al*., 2006). این پروتئین‌ها در مقیاس صنعتی به‌صورت ایزوله یا کنسانترهٔ پروتئین آب‌پنیر، تولیدشده و مورداستفاده قرار می‌گیرند (Smithers,2008). به‌دلیل خصوصیات مهم صمغ پکتین، از این هیدروکلوئید به‌عنوان پایدارکنندهٔ نوشیدنی‌ها استفاده می‌گردد (Jensen *et al*.,2015; Sejersen *et al*., 2007; Surh *et al*., 2006; Tromp *et al*., 2004).

لاکتوفرین مادهٔ زیست‌فعالی است که علی‌رغم تمامی فعالیت‌های مهم و چندگانه، در برابر استرس‌های محیطی حساس بوده و نیاز به ریزپوشانی دارد. در بخش‌های مواد غذایی و دارویی، ریزپوشانی یک روش مطلوب برای حفاظت و انتقال ترکیبات زیست‌فعال حساس محسوب می‌گردد (Jafari, *et al*., 2008).

ریزپوشانی شامل روش‌های مختلف فیزیکی (کواسرواسیون) و مکانیکی (خشک‌کردن پاششی، سردکردن پاششی، لیپوزوم، پوشش‌دهی بستر سیال و اکستروژن) می‌باشد. روش کواسرواسیون تکنیک نسبتاً ساده‌ای است که ازطریق جاذبهٔ الکترواستاتیک بین ترکیبات با بار الکتریکی مخالف باعث ایجاد دیوارهٔ چندلایه در اطراف ریزکپسول‌ها شده و آنها را مقاوم می‌نماید. جهت ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال می‌توان از بیوپلیمرها استفاده نمود.

نانوذرات بیوپلیمری یا به تنهایی ازطریق تجمع و به هم‌پیوستگی زنجیرهای یک نوع بیوپلیمر (پروتئین یا پلی‌ساکارید) و یا ازطریق کنترل اتصال و کمپلکس‌شدن مولکول‌های پروتئین و پلی‌ساکارید، می‌توانند، تولید گردند (Esfanjani & Jafari, 2016; Katouzian & Jafari, 2016).

پروتئین آب‌پنیر به‌عنوان یک امولسیفایر طبیعی و تثبیت‌کننده با توانایی تولید سیستم جنبشی پایدار و خواص ترمودینامیکی و تجمع آن با پلی‌ساکاریدها ایجاد یک کمپلکس غلیظ‌تر و رفتارهای تثبیت‌شدهٔ فضایی می‌نماید (Dickinson, 2008). پکتین یکی از

[1] Osteocyte
[2] Osteoblast
[3] Osteoclast
[4] Lactoferrin
[5] Glycoprotein
[6] Transferrin

معروف‌ترین پلی‌ساکاریدهاست که به‌طور وسیعی در تشکیل کمپلکس با پروتئین‌های آب‌پنیر برای تولید سیستم‌های چندلایهٔ درون‌پوشانی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Esfanjani, *et al*., 2015; Esfanjani, *et al*., 2017; Mohammadi *et al*., 2016). پکتین پلی‌ساکارید غنی از اسیدگالاکتورنیک، رامانوگالاکتارانان، هولو گالاکتورونان و گزیلوگالاکتارونان می‌باشد (Mohnen, 2008). در pH زیر نقطهٔ ایزوالکتریک (pI) پروتئین‌ها، دارای بار مثبت بوده و با گروه‌های آنیونی پلی‌ساکاریدها که دارای بار منفی هستند، واکنش می‌دهند. این واکنش‌ها تحت تأثیر فاکتورهای زیادی ازقبیل میزان pH، قدرت یونی، افزودن بیوپلیمر، تغییر شکل، دانسیتهٔ بار و غلظت پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها می‌باشند (Ye, 2008).

به‌منظور بررسی عملکرد نوشیدنی فراسودمند در آزمایشگاه، از ارزیابی اثرات آن در سلول استئوبلاست استفاده می‌گردد. در بررسی مدل رشد استئوبلاست در آزمایشگاه چندین دودمان سلولی نظیر MG-63، Saos-2 و U-2 OS وجود دارد.

یکی از روش‌های بررسی تعداد سلول‌ها در محیط کشت سلولی، اندازه‌گیری متابولیسم اکسیداتیو سلولی به روش (MTT[1]) است. MTT نمک تترازولیوم محلول در آب می‌باشد. زمانی که این ترکیب در محلول نمکی فاقد فنل‌رد آماده‌سازی شود محلول زرد رنگی تولید می‌نماید. این ترکیب در میتوکندری سلول‌های زنده توسط آنزیم دهیدروژناز تبدیل به ترکیب نامحلولی به نام فورمازان[2] می‌گردد که این محصول توسط حلال‌هایی مانند ایزوپروپانول اسیدی یا دی‌متیل‌سولفوکساید[3] حل‌شده و رنگ ارغوانی–بنفش را ظاهر می‌سازد. جذب این رنگ در طول موج ۵۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری می‌شود (Mosmann, 1983).

در این پژوهش پس از ریزپوشانی لاکتوفرین توسط نانوکمپلکس پکتین-ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر و ارزیابی تشکیل نانوکمپلکس، به‌منظور بررسی اثر لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده بر رشد و زنده‌مانی ردهٔ سلولی استئوبلاست MG63 از آزمایش MTT استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

شیر شتر از استان گلستان تهیه شد. ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر (پروتئین ۹۶/۲ درصد) از (شرکت بین‌المللی مواد غذایی دیویس، آمریکا) و پکتین با درجهٔ متوکسیل بالا، و نیز کلرورسدیم، تریپسین، سفادکس، سولفات آمونیوم، پراکسید هیدروژن ۳ درصد، تترامتیل‌بنزیدین (TMB)[4]، تترازولیوم (دی‌متیل‌سولفوکساید، اسیدکلریدریک، آنتی بیوتیک 100 X liquid، NaH2PO4 2H2O و Na2HPO412H2O، تریس، استات سدیم، گلیسین، سدیم دودسیل سولفات، نیترات نقره، کربنات سدیم و متانول از شرکت مرک (آلمان) تهیه گردید. آلبومین سرم گوساله (BSA[5])، CM Sephadex C-50، آکریل‌آمید، بیس‌آکریل‌آمید از شرکت سیگما و RPMI 1640، تیوسولفات سدیم از شرکت روش آلمان خریداری شد.

خالص‌سازی لاکتوفرین شیر شتر

خالص‌سازی لاکتوفرین براساس روش Raei و همکاران (۲۰۱۵) انجام پذیرفت. مراحل استخراج به‌طور خلاصه به قرار ذیل می‌باشد. پس از چربی‌زدایی توسط سانتریفیوژ (g ۳۰۰۰-۱۵ دقیقه) کازئین شیر شتر توسط سانتریفیوژ دور بالا (g ۲۵۰۰۰-۲۰ دقیقه) از آب‌پنیر جداشده و پس از عبور از صافی توسط کروماتوگرافی تعویض‌یونی با استفاده از رزین CM Sephadex C-50 خالص گردید. فراکسیون‌های حاصل از شست‌وشوی رزین توسط بافر فسفات حاوی غلظت‌های مختلف نمکی (۰/۴ تا ۰/۹ درصد) و سپس اندازه‌گیری میزان پروتئین در این فراکسیون‌ها با استفاده از اسپکتروفوتومتری در طول موج ۲۶۰ نانومتر انجام پذیرفت، در ادامه با استفاده از SDS-PAGE وزن مولکولی و وجود تک‌باند با وزن مولکولی در محدودهٔ ۸۰ کیلودالتون در آنها مشخص شد. سپس با استفاده از تست برادفورد غلظت این پروتئین‌ها تعیین گردید. آنگاه با استفاده از آزمایش تولید رنگ

[1] 3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-Diphenyltetrazolium Bromide
[2] Formazan
[3] Dimethylsulfoxide
[4] 3,3′,5,5′-Tetramethylbenzidine
[5] Bovine Serum Albumin

در حضور تترامتیل بنزیدین وجود لاکتوفرین و یا لاکتوپراکسیداز در فراکسیون‌ها موردبررسی قرار گرفت. لاکتوفرین خالص‌شده با استفاده از کیسهٔ دیالیز تغلیظ و در ۷۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد.

تشکیل نانوکمپلکس آب‌پنیر/پکتین

در ابتدا محلول‌های جداگانه ۲ درصد (w/v) از ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر (WPI)[1] و متوکسی پکتین با درجهٔ متیلاسیون بالا (HMP)[2] تهیه شدند. جهت تشکیل نانوکمپلکس ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر/پکتین براساس روش Singh و Burgess (۱۹۸۹) غلظت کلی بیوپلیمر ۰/۴ درصد (w/w) در pHهای اسیدی (۳، ۳/۵ و ۴) با دو روش اسیدی‌سازی قبل از مخلوط‌کردن[3] (Pr-A) و روش اسیدی‌سازی پس از اختلاط[4] (Po-A) مورداستفاده قرار گرفت. برای تشکیل کمپلکس به روش (Po-A)، محلول‌های ذخیرهٔ پروتئین آب‌پنیر و پکتین با متوکسیل بالا در ابتدا با نسبت‌های مشخص ۲:۱، ۱:۱ و ۱:۲ رقیق‌سازی‌شده تا به غلظت نهایی ۰/۴ درصد برسند. پروتئین آب‌پنیر و با نسبت‌های معین مخلوط و pH نهایی از ۷ به تدریج کاهش‌یافته و توسط اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال به ۴، ۳/۵ و۳ رسید. به‌منظور تشکیل کمپلکس اسیدی‌سازی با روش (Pr-A)، محلول‌های رقیق‌شدهٔ WPI و HMP به‌صورت جداگانه در مقادیر تعیین‌شده یعنی ۴، ۳/۵ و ۳ توسط اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال تنظیم و سپس با نسبت‌های معین با یکدیگر ترکیب و به مدت ۳ دقیقه هم‌زده (۷۵۰ دور در دقیقه) شدند.

ارزیابی تشکیل نانوکمپلکس ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر/پکتین

اندازه‌گیری قطر ذرات و پتانسیل زتا

قطر ذرات و پتانسیل زتای نمونه‌ها و کمپلکس توسط دستگاه زتاسایز (مدل Malvern ۲۰۰۰، شرکت مالورن، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد.

ریزپوشانی لاکتوفرین توسط کمپلکس WPI/P

جهت ریزپوشانی لاکتوفرین با غلظت نهایی ۰/۴ درصد به کمپلکس WPI/HMP که با استفاده از روش اسیدی‌سازی قبل از اختلاط و با نسبت ۲:۱ تشکیل‌شده بودند، افزوده شد. به‌این‌ترتیب محلول نهایی شامل ۰/۲۷ درصد محلول ایزولهٔ WPI، ۰/۱۳ درصد محلول HMP و ۰/۱ درصد محلول لاکتوفرین را شامل بود. میزان ۳۰ گرم از محلول نهایی با شرایط (g ۸۰۰۰، ۳۰ دقیقه، ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد) سانتریفیوژشده و رسوب به‌دست‌آمده لیوفلیزه[5] گردید.

مطالعه‌های مورفولوژیکی

شکل ظاهری نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (لئو، ساخت آلمان) موردبررسی قرار گرفت.

بررسی اثر نانوکمپلکس آب‌پنیر/پکتین بر سلول‌های استئوبلاست ردهٔ MG-63 توسط آزمایش MTT

جهت انجام آزمایش در ابتدا سلول‌های استئوبلاست رشدیافته به مدت ۴۸ ساعت در فلاسک کشت سلولی آماده‌شده پس از تعیین تعداد توسط تریپان‌بلو[6] مقدار ۱۰۰ هزار سلول به پلیت‌های ۹۶ خانه‌ای منتقل گردید. اجزای آزمایش به قرار ذیل تعریف شدند:

الف- سلول به میزان ۱۰۰ هزار در تمامی چاهک‌های مورد آزمایش؛

ب- محیط کشت به میزان ۱۰۰ میکرولیتر در تمامی چاهک‌های مورد آزمایش؛

ج- نمونه‌های مورد آزمایش به میزان ۱۰۰ میکرولیتر مطابق جدول شماره (۱) آماده و اضافه گردید.

از هر نمونهٔ تعریف‌شده ۷ تکرار مورد آزمایش قرار گرفت و پس از ۲۴ ساعت آزمایش MTT انجام پذیرفت. ابتدا سلول‌های موجود در پلیت، توسط PBS در ۳ مرحله شست‌وشو داده شدند. سپس به چاهک ۲۰ میکرولیتر محلول MTT اضافه و پلیت به مدت ۴ ساعت در شرایط تاریکی در انکوباتور قرار گرفت. آنگاه ۱۰۰ میکرولیتر DMSO داخل تمام چاهک‌های پلیت اضافه و پلیت به مدت ۱۵ دقیقه همزده شد. سپس میزان جذب نوری در طول موج‌های ۵۷۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید.

[1] Whey Protein Isolate
[2] High Methoxyl Pectin
[3] Pre-Blending Acidification
[4] Post-Blending Acidification
[5] Freeze Dried
[6] Trypan Blue

جدول ۱ - نام و اجزاء نمونهٔ مورداستفاده برای بررسی اثر لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده با نانوکمپلکس ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر/پکتین روی سلول استئوبلاست با استفاده از آزمایش MTT

ردیف	نمونه	اجزاء	ردیف	نمونه	اجزاء
۱	HMP	پکتین خالص به میزان به‌کاررفته برای تشکیل کمپلکس	۸	WPI	آب‌پنیر خالص به میزان به‌کاررفته برای تشکیل کمپلکس
۲	WPI+LF50	آب‌پنیر خالص به میزان به‌کاررفته برای تشکیل کمپلکس همراه با لاکتوفرین خالص با غلظت نهایی ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر	۹	LF50	لاکتوفرین خالص با غلظت ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر
۳	WPI+LF100	آب‌پنیر خالص به میزان به‌کاررفته برای تشکیل کمپلکس همراه با لاکتوفرین خالص با غلظت نهایی ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر	۱۰	WPI+HMP+LF100	پکتین وآب‌پنیر همراه با لاکتوفرین با غلظت نهایی ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر (کمپلکس تشکیل‌شده با غلظت ۱۰۰ لاکتوفرین)
۴	CO –	PBS و در آخر زمان آزمایش اثر نمونه‌ها قبل از آزمایشMTT از مرگ سلول‌ها توسط DMSO	۱۱	LF100	لاکتوفرین خالص با غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر
۵	WPI+HMP	پکتین و آب‌پنیر بآب آ به میزان به‌کاررفته برای تشکیل کمپلکس	۱۲	HMP+LF50	پکتین خالص به میزان به‌کاررفته برای تشکیل کمپلکس همراه با لاکتوفرین خالص با غلظت نهایی ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر
۶	WPI+HMP+LF50	پکتین و آب‌پنیر همراه با لاکتوفرین با غلظت نهایی ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر (کمپلکس تشکیل‌شده با غلظت ۵۰ لاکتوفرین)	۱۳	HMP+LF100	پکتین خالص به میزان به‌کاررفته برای تشکیل کمپلکس همراه با لاکتوفرین خالص با غلظت نهایی ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر
۷	CO+	PBS			

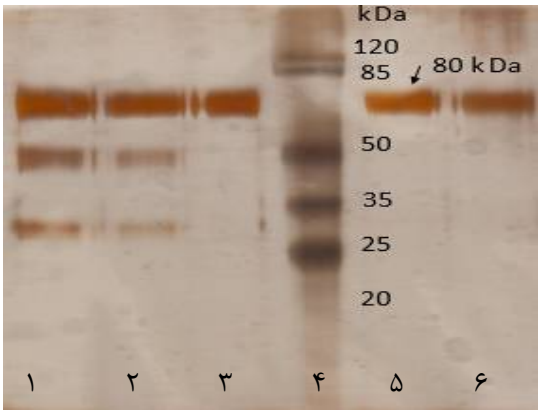
آنالیزهای آماری

داده‌های حاصل با استفاده (ANOVA) و مقایسهٔ میانگین‌ها ازطریق آزمون دانکن در سطح ۹۵ درصد و ازطریق SPSS نسخهٔ ۲۱ آنالیز گردیدند.

نتایج

نتایج حاصل از خالص‌ساز لاکتوفرین شیر شتر

نتایج نشان داد که باند مورد نظر در محدودهٔ وزن مولکولی ۸۰ کیلودالتون، در گرادیان‌های (۰/۴ تا ۰/۸ درصد کلرورسدیم) مشاهده می‌شود که نشان‌دهندهٔ لاکتوفرین و یا لاکتوپراکسیداز در این فراکسیون‌ها می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱ - نتایج حاصل از الکتروفورز فراکسیون‌های خالص‌شده توسط کروماتوگرافی تعویض یونی دیدن باندهای خالص در ناحیهٔ ۸۰ کیلودالتون

شمارهٔ ۴ مارکر پروتئین (۱۲۰ کیلودالتون)، شمارهٔ ۱ (فراکسیون ۰/۴ مولار درصد کلرورسدیم)، شمارهٔ ۲ (فراکسیون ۰/۵ مولار)، شمارهٔ ۳ (فراکسیون ۰/۶ مولار)، شمارهٔ ۵ (فراکسیون ۰/۷ مولار) و شمارهٔ ۶ (فراکسیون ۰/۸ مولار)

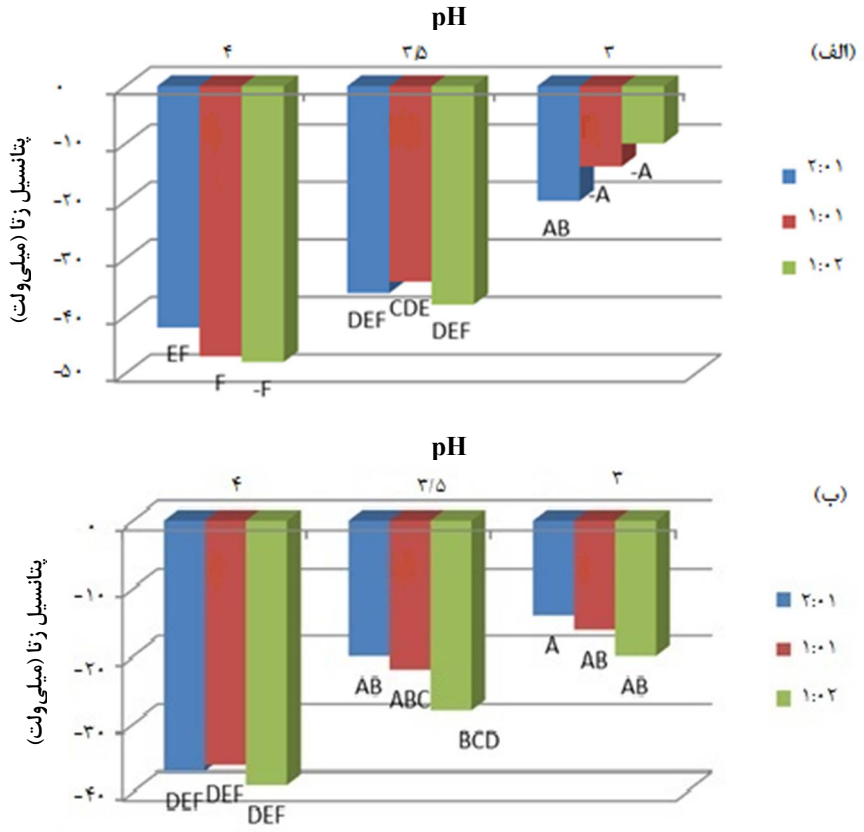
نتایج حاصل از اندازه‌گیری پروتئین به روش برادفورد نشان داد که غلظت پروتئین در فراکسیون‌های ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۸ به‌ترتیب ۲۲۳، ۲۵۰، ۲۴۴، ۲۰۴ و ۱۶۴ میکروگرم در میلی‌لیتر بوده است. نتایج حاصل آزمایش TMB نشان می‌دهد که فراکسیون‌های ۰/۶ و ۰/۷ در حضور تترامتیل بنزیدین تغییر رنگ نداشته بنابراین لاکتوفرین خالص می‌باشد.

نتایج حاصل از ارزیابی تشکیل نانوکمپلکس آب‌پنیر/پکتین

پتانسیل زتا و اندازهٔ نانوکمپلکس ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر/پکتین

نتایج نشان داد با افزایش نسبت پکتین به ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر میزان بار منفی بیشتر شده که به افزایش سطح شارژ منفی نانوذرات تشکیل‌شده در پی افزایش پتانسیل بار منفی مربوط می‌گردد (شکل ۲).

نتایج مشابه‌ای برای فرمولاسیون امولسیون‌ها توسط Mirhosseini و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شده است. در حقیقت میزان پتانسیل زتای بالا (مثبت یا منفی) با ایجاد شارژ الکتریکی بالاتر روی سطح قطره‌های امولسیون و ایجاد نیروهای دافعهٔ قوی در بین قطره‌ها از تجمع آنها در محلول محافظت نموده و سیستم را پایدار می‌نماید (Honary & Zahir, 2013).



شکل ۲ - نتایج حاصل از اندازه‌گیری پتانسیل زتای (میلی‌ولت) نانوکمپلکس WPI–HMP در نسبت‌های مختلف

مقایسهٔ میانگین‌ها با حروف نشان داده شده است. (الف) اسیدی‌سازی با روش قبل از ساخت (Pr-A) و (ب) اسیدی‌سازی با روش بعد از ساخت (Po-A)

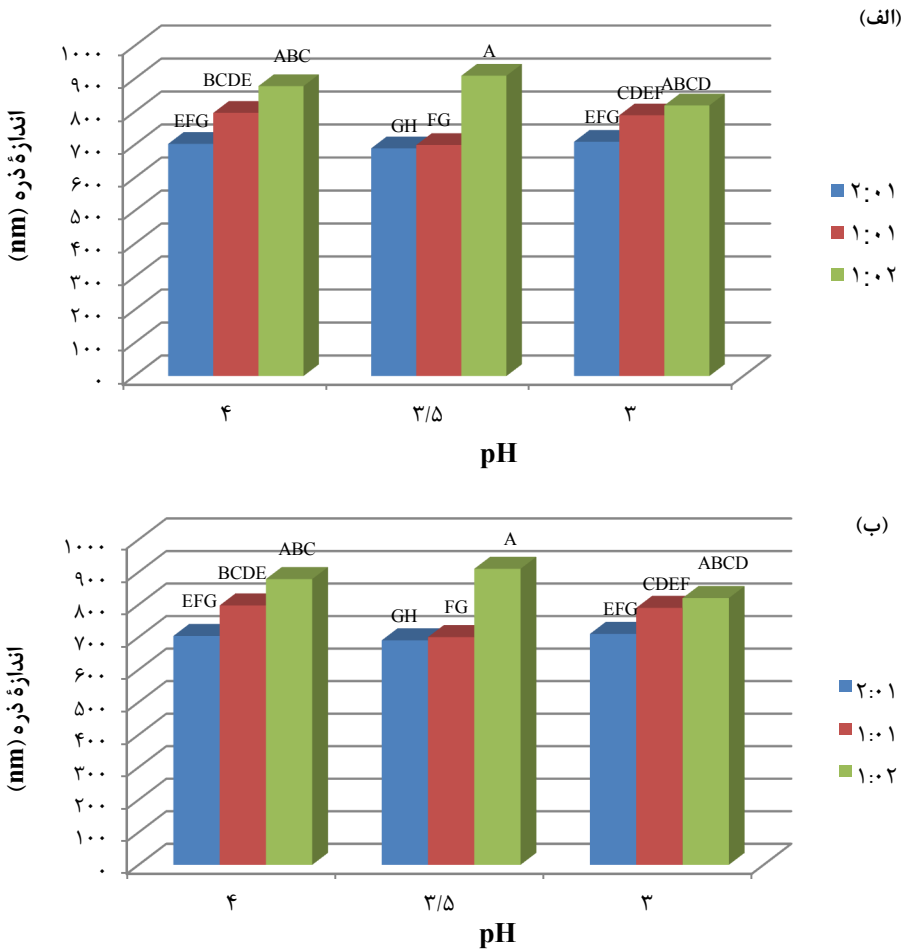
در نانوکمپلکس‌های تشکیل‌شده ازطریق روش اسیدی‌سازی قبل از اختلاط (Pr-A) پایین‌ترین پتانسیل زتا مربوط به تشکیل WPI–HMP در نسبت ۱:۲ و pH=۳ می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که در روش اسیدی‌سازی بعد از اختلاط (Po-A) در pH=۴ نسبت WPI–HMP تأثیری بر پتانسیل زتا ندارد ($P<۰/۰۵$). اما در pH=۳ و pH=۳/۵ تأثیر معنی‌داری دیده شد ($P>۰/۰۰۵$). کمترین پتانسیل زتا در کمپلکس تشکیل‌شدهٔ WPI–HMP در نسبت ۲:۱ و pH=۳ دیده شده است (شکل ۲).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری قطر ذرات نانوکمپلکس WPI/HMP

نتایج حاصل از اندازه‌گیری قطر ذرات نشان می‌دهد (شکل ۲)، در هر دو روش (Pr-A) و (Po-A)، اندازهٔ نانوذرات با کاهش نسبت پروتئین به پکتین، افزایش می‌یابد. کمپلکس WPI–HMP در روش (Pr-A)، در نسبت ۲:۱ و pH=۳ نانوذراتی با اندازهٔ کوچک (۷۱۰ نانومتر) تولید می‌گردد. درحالی‌که بزرگ‌ترین اندازهٔ ذرات در روش (Po-A)، نسبت ۱:۲ و در pH=۳/۵ بود (شکل ۳-الف).

نتایج نشان می‌دهد که با کاهش pH افزایش شارژ مثبت ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر و بار منفی مولکول‌های پکتین اتفاق می‌افتد که درنتیجهٔ نانوذراتی با اندازهٔ کوچک‌تر ایجاد می‌گردد. ازطرف‌دیگر، اندازهٔ نانوذرات با افزایش نسبت پکتین به ایزولهٔ آب‌پنیر افزایش می‌یابد. این حالت ممکن است درنتیجهٔ افزایش ضخامت لایهٔ بیرونی با به‌کارگیری غلظت‌های بیشتر بیوپلیمر باشد.

در تأیید نتایج به‌دست‌آمده، Peinado و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند که افزودن پلی‌ساکاریدها به سوسپانسیون نانوذرات پروتئین سبب افزایش قطر ذراتی می‌گردد که تمایل به ایجاد رسوب دارند و این امر به‌خاطر تجمع لایهٔ پلی‌ساکارید اطراف ذرات پروتئینی و یا به‌دلیل ایجاد پل‌های عرض بین تجمع‌های پروتئینی تشکیل‌شده می‌باشد (شکل ۳-ب). به‌طورکلی روش اسیدی‌سازی (Po-A) در مقایسه با روش دیگر ایجاد کمپلکس‌هایی با ذرات بزرگ‌تر می‌نماید که این مسئله را می‌توان این‌گونه توضیح داد که روش تدریجی اسیدی‌نمودن به کمپلکس‌ها زمان بیشتر به‌منظور بازآرایی ساختار فشردهٔ خود می‌دهد (Bédié *et al.*, 2008).



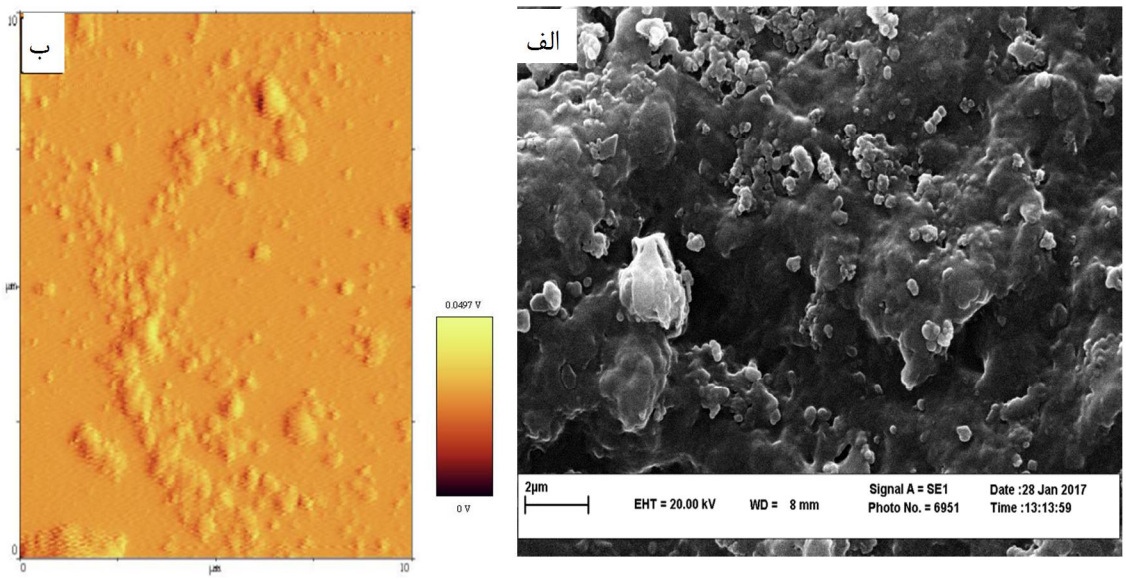
شکل ۳ - نتایج حاصل از اندازه‌گیری قطر ذرات (نانومتر) نانوکمپلکس WPI–HMP در نسبت‌های مختلف

مقایسهٔ میانگین‌ها با حروف نشان داده شده است. (الف) اسیدی‌سازی با روش قبل از ساخت (Pr-A) (ب) اسیدی‌سازی با روش بعد از ساخت (Po-A)

نتایج حاصل از ریزپوشانی لاکتوفرین توسط نانوکمپلکس WPI–HMP در pHهای مختلف

نتایج حاصل از بازده رسوب کمپلکس در هر دو روش مورداستفاده با افزایش نسبت WPI افزایش و با افزایش pH از ۳ به ۴ کاهش می‌یابد این امر می‌تواند ناشی از تأثیر متقابل بهتر ناشی از افزایش بار منفی پکتین و بار مثبت WPI در اثر کاهش pH باشد (Bédié *et al.*, 2008). نتایج حاصل از کارایی ریزپوشانی لاکتوفرین نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین میزان لاکتوفرین در نسبت ۲:۱ در روش (Po-A) و در pH=۴ و نیز در هر دو روش در pH=۳ مشاهده شد.

نتایج نشان داد که بازده ریزپوشانی در روش اسیدی‌سازی قبل (Pr-A) به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۰۵$) بیشتر از این بازده در روش دیگر می‌باشد. شباهت زیادی در توزیع سایز نانوذرات مشاهده‌شده در هر دو تصویر AFM و SEM مشاهده می‌گردد (شکل ۴).



شکل ۴ - نتایج حاصل از SEM و AFM نانوکمپلکس WPI–HMP در نسبت ۲:۱ در pH=۳

نتایج حاصل از SEM و AFM نانوکمپلکس HMP–WPI

نتایج حاکی از این است که نانوذرات کمپلکس اشکال کروی و اندازهٔ ذراتی در حد نانو داشته و طیف گسترده‌ای از اندازهٔ ذرات را نشان می‌دهند.

نتایج حاصل از بررسی اثر نانوکمپلکس ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر/پکتین روی سلول استئوبلاست MG63 توسط آزمایش MTT

نتایج حاصل از بررسی اثر نانوکمپلکس ایزولهٔ آب‌پنیر/پکتین روی سلول استئوبلاست MG63 توسط آزمایش MTT نشان می‌دهد که سلول‌های استئوبلاست در مجاورت با لاکتوفرین و ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر افزایش رشد و تکثیر داشته‌اند. لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده با غلظت ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر توسط نانوکمپلکس WPI/HMP رشدی معادل کنترل مثبت داشته است و ازآنجاکه نمونهٔ لاکتوفرین با غلظت ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر دارای ۱۶ درصد افزایش رشد نسبت به کنترل مثبت بوده است، می‌توان نتیجه گرفت که تقریباً تمامی لاکتوفرین در ترکیب یادشده ریزپوشانی‌شده و یا با اتصال به کمپلکس از دسترس سلول دور مانده است، اما نتایج حاصل از لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده با غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر توسط نانوکمپلکس WPI/HMP رشدی معادل ۱۱۳ درصد را نشان می‌دهد و بیان‌کنندهٔ این مطلب است که ۱۳ درصد افزایش رشد نسبت به کنترل مثبت بوده و ازنظر آماری در سطح لاکتوفرین با غلظت ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر می‌باشد (شکل ۵). بنابراین با مقایسهٔ نتایج ذکرشده می‌توان نتیجه گرفت حدود نیمی از لاکتوفرین‌ها در WPI/HMP+LF100 ریزپوشانی‌شده

و نیمی آزاد باقی می‌ماند تا موجب افزایش رشد سلولی گردد.

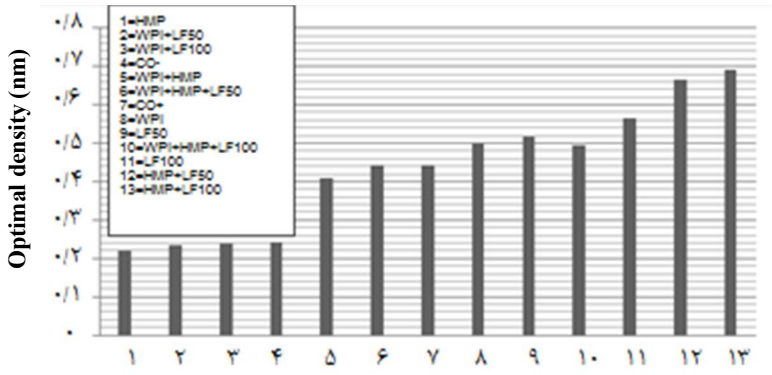
میزان رشد برای ترکیب لاکتوفرین و پکتین در هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر لاکتوفرین بیشتر از تمامی نمونه‌های موردبررسی بوده است که علی‌رغم داشتن تفاوت عددی ازنظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند، اما با سایر نمونه‌های مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۰۵$) مشاهده شد. این امر شاید به‌دلیل این باشد که ترکیب پکتین با لاکتوفرین به لاکتوفرین بار منفی می‌دهد (Bengoechea *et al.,* 2011) و لاکتوفرین می‌تواند بهتر در دسترس سلول قرار گیرد. نتایج حاصل از نمونه‌های حاوی ترکیب لاکتوفرین و آب‌پنیر در هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر لاکتوفرین که هیچ رشد سلولی را نشان نمی‌دهد این تحلیل را ثابت می‌نماید یعنی اینکه ترکیب هر دو پروتئین با بارهای مثبت سبب افزایش بار مثبت در محلول شده و از تکثیر سلول استئوبلاست جلوگیری نموده است.

نتایج سایر محققین نشان می‌دهد که لاکتوفرین در شرایط آزمایشگاهی باعث افزایش بقا و تمایز سلول‌های استئوبلاست و مهار تشکیل استئوکلاست می‌شود و در زمان کمبود استروژن از کاهش بافت استخوان جلوگیری می‌نماید (Naot *et al*., 2012). همچنین مطالعه‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که تکثیر سلول‌های استئوبلاست در مجاورت لاکتوفرین افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که در غلظت ۱۰ میکرورم در میلی‌لیتر لاکتوفرین، تقسیم هسته ۲ برابر شده و در غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر، ۵ برابر خواهد شد (Cornish *et al*., 2004).

تحقیق‌ها روی تمایز، تکثیر و فعالیت استئوبلاست‌ها نشان می‌دهد که در غلظت ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر و بالاتر لاکتوفرین، سطح معدنی‌شدن افزایش داشته و با میزان ثابت سلول استئوبلاست نیز تأثیر لاکتوفرین بر ساخت ماتریکس خارج سلولی افزایش می‌یابد. Comish و همکاران (۲۰۰۴) و Takayama و همکاران (۲۰۰۸) به‌علاوه نشان‌داده‌شده که لاکتوفرین باعث افزایش طول عمر استئوبلاست‌ها نیز می‌شود و آپوپتوز استئوبلاست‌ها در حضور لاکتوفرین کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در حضور غلظت ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر لاکتوفرین، این میزان به کمتر از ۵۰ درصد می‌رسد و وابسته به مقدار کاهش می‌یابد (Cornish *et al.,* 2004; Grey *et al*., 2006).

مطالعه‌های آزمایشگاهی نشان داده است که لاکتوفرین ازطریق افزایش استئوبلاست‌ها و کاهش آپوپتوز آنها و نیز ازطرق افزایش آپوپتوز سلول‌های استئوکلاست سبب افزایش تراکم استخوان گردد (Cornish *et al*., 2004). همچنین نتایج محققین بیان‌کنندهٔ این مطلب است که آپوپتوز استئوبلاست‌ها در غلظت ۱۰ میکروگرم در میلی‌لیتر لاکتوفرین مهار می‌گردد (Hou *et al*., 2014).

نتایج مربوط به نمونه‌های کنترل مثبت، ترکیب پکتین با WPI و نیز ترکیب پکتین با WPI همراه با ۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر لاکتوفرین نشان می‌دهند که این نمونه‌ها در یک سطح قرار دارند و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($P<۰/۰۵$) این نتایج می‌تواند بحث مربوط به دخالت بارهای سطحی در رشد سلولی را تأیید نماید بدین‌منظور که بارهای منفی HMP با بارهای مثبت WPI خنثی شده است تا سلول بتواند به‌طور عادی رشد نماید. درخصوص نمونه‌های WPI، LF50 و WPI+HMP+LF100 که ازنظر آماری در یک سطح می‌باشند. ضریب رشد در مقایسه با کنترل مثبت به‌ترتیب ۱۱۲/۴، ۱۱۳ و ۱۱۶ درصد می‌باشد. نمونهٔ LF100 دارای ضریب رشدی معادل ۱۲۷/۵ درصد بوده که ازنظر آماری با سایر نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری دارد ($P<۰/۰۵$).



شکل ۵ - نتایج حاصل از بررسی اثر لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده با نانوکمپلکس ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر/پکتین روی سلول استئوبلاست MG63 با استفاده از آزمایش MTT

Hou و همکاران (۲۰۱۵) و Takaokaو همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثر لاکتوفرین در تکثیر و تمایز سلول‌های استئوبلاست موش ازطریق تنظیم افزایشی انسولین و بیان فاکتور رشد پرداختند، نتایج نشان داد که رشد سلول‌های استئوبلاست افزایش یافته‌اند نتایج تحقیق حاضر با نتایج این محققین همخوانی دارد. این‌طور به‌نظر می‌رسد که لاکتوفرین می‌تواند همانند عوامل رشد دیگر در استخوان‌سازی مؤثر باشد و کیفیت و کمّیت ترمیم استخوان را بهبود بخشد. مشاهده شده است که لاکتوفرین گاوی در شرایط آزمایشگاهی در غلظت ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر تشکیل استئوکلاست‌ها را متوقف می‌نماید (Cornish *et al.*, 2004).

اثر لاکتوفرین در بستر تیتانیوم توسط (Kim *et al.*, 2014) به‌منظور افزایش فعالیت سلول استئوبلاست ردهٔ MG-63 موردبررسی قرار دادند و بیان کردند که فعالیت استئوبلاست، باعث فعالیت آلکالن فسفاتازشده و کلسیم در کشت بسترهای تیتانیوم و لاکتوفرین نسبت به کشت سلول در بسترهای تیتانیوم تنها بیشتر رسوب کرده‌اند، این امر نشان می‌دهد که لایهٔ تیتانیوم و لاکتوفرین بی‌حرکت در افزایش فعالیت استئوبلاست مؤثر بوده است.

تشکیل استئوکلاست‌های جدید نیز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر لاکتوفرین، تشکیل استئوکلاست‌ها متوقف می‌شود. ولی لاکتوفرین تأثیری بر استئوکلاست‌های بالغ ندارد. در مطالعه‌های درون‌سلولی[1] دیده شد که تزریق لاکتوفرین در همی‌کالواریا[2] موش‌های نر باعث افزایش ضخامت استخوان در سمت مورد نظر می‌شود. به‌ویژه در غلظت ۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر این ضخامت ۴ برابر گروه کنترل بوده است (Cornish *et al.*, 2004).

همچنین توسط Grey و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش کرده‌اند که در سطح (LRP1) و (LRP2) گیرنده‌هایی وجود دارند که در اثر اتصال لاکتوفرین به این گیرنده‌ها لاکتوفرین پس از ۳۰ دقیقه اندوسیتوز می‌گردد. همچنین لاکتوفرین قادر است فسفوریلاسیون p42/44 MAP kinases را تحریک نموده و ازاین‌طریق سبب تکثیر بیشتر سلول استئوبلاست گردد.

گزارش شده است Hill و همکاران (۱۹۹۷) که رشد و تزاید سلول‌های استئوبلاست و الیگودندروسیت‌ها نیاز به فاکتورهای رشد اختصاصی نظیر IGF-I و IGF-II دارند هنگامی که این سلول‌ها از فاکتور رشد محروم می‌شوند به‌نظر می‌رسد مسیرهای مرگ سلولی فعال می‌شود و این سلول‌ها خودشان را می‌کشند یعنی آپاپتوزیس اتفاق می‌افتد. اینکه در نمونه‌های WPI+LF50، WPI+LF100 و HMP تجمع زیاد بارهای هم‌نام برای WPI+LF50 و WPI+LF100 بار مثبت و برای HMP بار منفی چگونه سبب فعال‌شدن مرگ برنامه‌ریزی سلول می‌شوند و یا

[1] Invitro
[2] Hemicalvaria

از سایر مسیرها از رشد سلول استئوبلاست جلوگیری نموده‌اند باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرند.

محقق دیگر Grey و همکاران (۲۰۰۶) بیان می‌دارد که لاکتوفرین گاوی علاوه‌بر مسیر وابسته به LPR1 که سبب فعال‌سازی PI3 kinase و مهار P42/44 MAP kinase می‌شود با مسیر دیگری سبب تکثیر استئوبلاست می‌گردد که نشان می‌دهد برای روشن‌شدن مسیر اثر لاکتوفرین بر سلول‌های استئوبلاست تحقیق‌های زیادی مورد نیاز می‌باشد.

نتیجه‌گیری

ریزپوشانی لاکتوفرین توسط نانوکمپلکس پکتین ـ ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر و ارزیابی تشکیل نانوکمپلکس آن با هدف اثر لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده بر رشد و زنده‌مانی ردهٔ سلولی استئوبلاست MG63 موردبررسی قرار گرفت. با افزایش مقدار پکتین، میزان بار منفی بیشتر شده که به افزایش سطح بار منفی نانوذرات تشکیل‌شده استناط می‌شود. کمترین پتانسیل زتا در کمپلکس WPI–HMP در نسبت ۲:۱ و pH=۳ مشاهده شد. در هر دو روش (Pr-A) و (Po-A)، اندازهٔ نانوذرات با کاهش نسبت پروتئین به پکتین، افزایش یافت. نتایج نشان داد که با کاهش pH افزایش بار مثبت ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر و بار منفی مولکول‌های پکتین اتفاق می‌افتد که درنتیجهٔ نانوذراتی با اندازهٔ کوچک‌تر ایجاد می‌گردد. ازطرف‌دیگر، اندازهٔ نانوذرات با افزایش نسبت پکتین به ایزولهٔ آب‌پنیر افزایش یافت. این حالت درنتیجهٔ افزایش ضخامت لایهٔ بیرونی با به‌کارگیری غلظت‌های بیشتر بیوپلیمر است. نتایج حاصل از بررسی اثر نانوکمپلکس ایزولهٔ آب‌پنیر/پکتین روی سلول استئوبلاست MG63 توسط آزمایش MTT نشان داد که سلول‌های استئوبلاست در مجاورت با لاکتوفرین و ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر افزایش رشد و تکثیر داشته‌اند. لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده با غلظت ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر توسط نانوکمپلکس WPI/HMP رشدی معادل کنترل مثبت داشته است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که لاکتوفرین ریزپوشانی‌شده با غلظت ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر توسط نانوکمپلکس، رشدی معادل ۱۱۳ درصد دارد و ازنظر آماری در سطح لاکتوفرین خالص با غلظت ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر قرار گرفت.

منابع

1- Aala, M., Aghaei Meybodi HR, Peymani M, & Larijani B. 2009. Osteoporosis and exercise in postmenopausal women. Iranian Journal of Endocrinology & Metabolism, 11(2):209-217.

2- Arnett T. 2003. Regulation of bone cell function by acid-base balance. Proceedings of the Nutrition Society, 62(2):511-520.

3- Bédié, G.K., Turgeon, S.L., & Makhlouf, J. 2008. Formation of native whey protein isolate–low methoxyl pectin complexes as a matrix for hydro-soluble food ingredient entrapment in acidic foods. Food Hydrocolloids, 22(5):836-844.

4- Bengoechea, C., Jones, O.J., Guerrero, A., & McClements, D.J. 2011. Formation and characterization of lactoferrin/pectin electrostatic complexes: Impact of composition, pH and thermal treatment. Food Hydrocolloids, 25(5):1227-1232.

5- Bharadwaj, S., Naidu, A.G.T., Betageri, G.V., Prasadarao, N.V., & Naidu, A.S. 2009. Milk ribonuclease-enriched lactoferrin induces positive effects on bone turnover markers in postmenopausal women. Osteoporosis International, 20(9):1603-1611.

6- Cornish, J., Callon, K.E., Naot, D., Palmano, K.P., Banovic, T., Bava, U., Watson, M., Lin, J.-M., Tong, P.C., Chan, Q.C.V.A., Reid, H.L., Fazzalari, N., Baker, H.M., Haggarty, N.W., Grey, A.B., & Reid, I.R. 2004. Lactoferrin is a potent regulator of bone cell activity and increases bone formation *in vivo*. Endocrinology, 145(9):4366-4374.

7- Cummings, S.R., & Melton, L.J. 2002. Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures. Lancet, 359(9319):1761-1767.

8- Dickinson, E. 2008. Interfacial structure and stability of food 355 emulsions as affected by protein-polysaccharide interactions. Soft Matter, 4(5):932-942.

9- Du, M., Liu, M., Fan, F., Shi, P., & Tu, M. 2017. Structure, function, and nutrition of lactoferrin. P. 33-61. In Mineral Containing Proteins, Springer.

10- Esfanjani, A.F., Jafari, S.M., Assadpoor, E., & Mohammadi, A. 2015. Nano-encapsulation of saffron extract through double-layered multiple emulsions of pectin and whey protein concentrate. Journal of Food Engineering, 165:149-155.

11- Esfanjani, A.F., & Jafari, S.M. 2016. Biopolymer nano-particles and natural nano-carriers for nano encapsulation of phenolic compounds. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 146(1):532-543.

12- Esfanjani, A.F., Jafari, S.M., & Assadpour, E. 2017. Preparation of a multiple emulsion based on pectin-whey protein complex for encapsulation of saffron extract nanodroplets. Food Chemistry, 221:1962-1969.

13- Ferreira, S.E., Mello, M.T., Pompeia, S., & Souza-Formigoni, M.L. 2006. Effects of energy drink ingestion on alcohol intoxication. Alcoholism: Clinical and Experimental Research, 30(4):598-605.

14- García-Montoya, I.A., Cendón, T.S., Arévalo-Gallegos, S., & Rascón-Cruz, Q. 2011. Lactoferrin a multiple bioactive protein:a overview. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects, 23(3):112-120.

15- Garnero, P., & Delmas, P.D. 2002. Evaluation of risk for osteoporosis fractures. P.1291-1301. In: Bilezikian, J.P., Raisz, L.G., Rodan, G.A. editors. Principles of bone biology. 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press.

16- Grey, A., Banovic, T., Zhu, Q., Watson, M., Callon, K., Palmano, K., Ross, J., Naot, D., Reid, I.R., & Cornish, J. 2004. The low-density lipoprotein receptor-related protein 1 is a mitogenic receptor for lactoferrin in osteoblastic cells. Molecular Endocrinology, 18(9):2268-2278.

17- Grey, A., Zhu, Q., Watson, M., Callon, K., & Cornish, J. 2006. LF potently inhibits osteoblast apoptosis, via an LRP1-independent pathway. Molecular and Cellular Endocrinology, 251(1-2):96-102.

18- Hill, P.A., Tumber, A., & Meikle, M.C. 1997. Multiple extracellular signals promote osteoblast survival and apoptosis. Endocrinology, 138(9):3849-3858.

19- Honary, S., & Zahir, F. 2013. Effect of zeta potential on the properties of nano-drug delivery systems a review (Part 1). Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 12(2):255-264.

20- Hou, J.M., Chen, E.Y., & Wei, S.C. 2014. Lactoferrin inhibits apoptosis through insulin-like growth factor I in primary rat osteoblasts. Acta Pharmacol Sinica, 35(4):523-530.

21- Hou, J.M., Chen, E.Y., Lin, F., Lin, Q.M., Xue, Y., Lan, X.H., & Wu, M. 2015. Lactoferrin induces osteoblast growth through IGF-1R. International Journal of Endocrinology, 1:282-286.

22- Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y., & Bhandari, B. 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. Drying Technology, 26(7):816-835.

23- Jeney, V. 2017. Clinical impact and cellular mechanisms of iron overload-associated bone loss. Front Pharmacol, 8:77.

24- Jensen, E.V., Buch-Andersen, T., Ravn-Haren, G., & Dragsted, L.O. 2015. Mini-review: the effects of apples on plasma cholesterol levels and cardiovascular risk - a review of the evidence. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 84(6):34-41.

25- Kanwar, J.R., Roy, K., Patel, Y., Zhou, S.-F., Singh, M.R., Singh, D., Nasir, M., Sehgal, R., Sehgal, A., & Singh, R.S. 2015. Multifunctional iron bound lactoferrin and nanomedicinal approaches to enhance its bioactive functions. Molecules, 20(6):9703-9731.

26- Katouzian, I., & Jafari, S.M. 2016. Nano-encapsulation as a 386 promising approach for targeted delivery and controlled release of vitamins. Trends in Food Science & Technology, 53:34-48.

27- Kim, S.E., Yuna, Y.P., Lee, J.Y., Park, K., & Suh, D.H. 2014. Osteoblast activity of MG-63 cells is enhanced by growth on a lactoferrin-immobilized titanium substrate. Colloids Surface, 123(1):191-198.

28- Mirhosseini, H., Tan, C.P., Hamid, N.S., & Yusof, S. 2008. Effect of arabic gum, xanthan gum and orange oil content n ζ-potential, conductivity, stability, size index and pH of orange beverage emulsion. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 315(1):47-56.

29- Mohammadi, A., Jafari, S.M., Esfanjani, A.F., & Akhavan, S. 2016. Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. Food Chemistry, 190:513-519.

30- Mohnen, D. 2008. Pectin structure and biosynthesis. Current Opinion in Plant Biology, 11(3):266-277.

31- Mosmann, T.R. 1983. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assay. Journal of Immunological Methods; 65(1-2):55-63.

32- Naot, D., Palmano, K., & Cornish, J. 2012. Lactoferrin-A Potential Anabolic Intervention in Osteoporosis. Osteoporosis. Yannis Dionyssiotis, 39:803-820.

33- Peinado, I., Lesmes, U., Andrés, A., & McClements, J.D. 2010. Fabrication and morphological characterization of biopolymer particles formed by electrostatic complexation of heat treated lactoferrin and anionic polysaccharides. Langmuir, 26(12):9827-9834.

34- Plotkin, L.I., Weinstein, R.S., Parfitt, A.M., Roberson, P.K., Manolagas, S.C., & Bellido, T. 1999. Prevention of osteocyte and osteoblast apoptosis by bisphosphonates and calcitonin. Journal of Clinical Investigation, 104:1363-1374.

35- Raei, M., Rajabzadeh, G., Zibaei, S., Jafari, S.M., & Sani, A.M. 2015. Nano-encapsulation of isolated lactoferrin from camel milk by calcium alginate and evaluation of its release. International Journal of Biological Macromolecules, 79:669-673.

36- Sejersen, M.T., Salomonsen, T., Ipsen, R., Clark, R., Rolin, C., & Engelsen, S.B. 2007. Zeta potential of pectin-stabilised casein aggregates in acidified milk drinks. International Dairy Journal, 17(4):302-307.

37- Singh, O., & Burgess, D. 1989. Characterization of albumin-alginic acid complex coacervation. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 41(10):670-673.

38- Smithers, G.W. 2008. Whey and whey proteins-from 'gutter-to-gold'. International Dairy Journal, 18(7):695-704.

39- Surh, J., Decker, E.A., & McClements, D.J. 2006. Influence of pH and pectin type on properties and stability of sodium-caseinate stabilized oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids, 20(5):607-618.

40- Takaoka, R., Hikasab, Y., Hayashic, K., & Tabata, Y. 2011. Bone regeneration by lactoferrin released from a gelatin Hydrogel. Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, 22(12):1581-1589.

41- Takayama, Y., & Mizumachi, K. 2008. Effect of bovine lactoferrin on extracellular matrix calcification by human osteoblast-like cells. Biosci Biotechnol and Biochem, 72(1):226-30.

42- Tate, M.L., Adamson, J.R., Tami, A.E., & Bauer, T.W. 2004. Cells in focus, the osteocyte. The International Journal of Biochemistry and Cell Biology, 36(1):1-8.

43- Tomita, M., Wakabayashi, H., Shin, K., Yamauchi, K., Yaeshima, T., & Iwatsuki, K. 2009. Twenty-five years of research on bovine lactoferrin applications. Biochimistry, 91(1):52-57.

44- Tromp, R.H., de Kruif, C.G., van Eijk, M., & Rolin, C. 2004. On the mechanism of stabilisation of acidified milk drinks by pectin. Food Hydrocolloids, 18(4):565-572.

45- Wang, Z., & McCauley, L.K. 2011. Osteoclasts and odontoclasts: signaling pathways to development and disease. Oral Diseases, 17(2):129-42.

46- Ye, A. 2008. Complexation between milk proteins and polysaccharides via electrostatic interaction: principles and applications-a review. International Journal of Food Science & Technology, 43(3):406-415.

The Effect of Encapsulated Camel milk's Lactoferrin with Whey Protein Isolate-pectin Complexes on the Growth and Viability of MG63 Osteoblast Cell

Masoumeh Raei[1], Fakhri Shahidi[2*], Majid Farhoodi[3], Seid Mahdi Jafari[4], Ali Rafe[5]

1- PhD Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
* Corresponding author (niloofar1373@yahoo.com)
3- Assistant Professor, Razi Vaccine & Serum Research Institute, Mashhad, Iran
4- Associate Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
5- Associate Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

Abstract

Lactoferrin is one of the most important bioactive compounds that can increase the activity of the immune system and osteogenicity. However, it is sensitive to environmental stresses. Hence, the production of functional beverage including encapsulated lactoferrin by noncomplex of WPI/HMP was investigated in the current work. Nanocomplex was prepared by a complexation of whey protein isolate (WPI)-high methoxyl pectin (HMP) at total biopolymer concentration of 0.4% (w/w) at pH values of 3, 3.5 and 4 through post and pre-blending acidification procedures. In order to encapsulate lactoferrin, it was inserted to the WPI/HMP complex in which formed by the ratio 2:1 and pre-acidification (Pr-A).The results of Zeta-potential and particle sizes showed that by increasing HMP, the negative sites of the complex increased as well as the size of nano-particles. The effect of entrapped lactoferrin in WPI/HMP nano-particles on osteoblastic proliferation by MTT assay showed WPI/HMP+LF50 µg/mL a growth equal to the rate of positive control. For example the pure lactoferrin concentration of 50 µg/mL progressed 16% growth compared to the positive control. Therefore, it can be concluded that almost all lactoferrin in WPI/HMP+LF50 µg/mL combined or complexed and the cell access failed. The lactoferrin entrapped by WPI/HMP+LF100 µg/mL had a 113% growth and statistically occured at level of pure lactoferrin 50 µg/mL.

Keywords: Beverage, Lactoferrin, Osteoblast, Pectin, Whey Protein Isolate

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۱۴۸-۱۳۳

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

تولید و بهینه‌سازی مکمل فیبری فراسودمند بر پایهٔ فراورده‌های جانبی توسط فناوری اکستروژن

سارا نیاستی[۱]، محمدحسین حداد خداپرست[۲*]، الناز میلانی[۳]، آرش کوچکی[۴]

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲و۴- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (khodaparast@um.ac.ir)
۳- استادیار، گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۳۰

واژه‌های کلیدی
اکستروژن
تفالهٔ گوجه‌فرنگی
سبوس برنج
فراوردهٔ جانبی
مکمل فیبری

چکیده

در این پژوهش، امکان استفاده از فناوری اکستروژن در تولید مکمل فیبری فراسودمند از فراورده‌های جانبی صنایع تبدیلی گوجه‌فرنگی و برنج (تفالهٔ گوجه‌فرنگی و سبوس برنج) بررسی شد. از طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر به‌منظور ارزیابی متغیرهای فرایند و فرمولاسیون شامل سرعت چرخش مارپیچ (۱۶۰-۱۲۰ دور بر دقیقه)، رطوبت (۱۸-۱۲ درصد) و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج (۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ درصد وزنی:وزنی) استفاده شد و ویژگی‌های عملکردی و فیزیکوشیمیایی شامل شاخص جذب آب، تورم، میزان سختی و فیبر رژیمی محلول فراوردهٔ بافت‌داده‌شده موردارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش همزمان متغیرهای سرعت چرخش مارپیچ و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، شاخص جذب آب فراورده افزایش یافت. افزایش همزمان رطوبت و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج میزان تورم را افزایش داد. سختی بافت مکمل فیبری با افزایش سطوح افزودن تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج افزایش یافت و افزایش سرعت چرخش مارپیچ سبب افزایش میزان فیبر رژیمی محلول گردید. مطابق نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر، شرایط بهینهٔ فراوری مکمل فیبری در شرایط تحت بررسی با اهداف افزایش شاخص جذب آب، تورم، میزان فیبر رژیمی محلول و کاهش سختی شامل شاخص جذب آب ۴/۶۴ گرم بر گرم، میزان تورم ۴/۶۱ میلی‌لیتر بر گرم، میزان سختی ۸۹/۰۸ نیوتن، فیبر رژیمی محلول ۱۱/۰۹ درصد، میزان رطوبت خوراک ۱۴/۰۶ درصد، نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ۲۶/۴۳ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۲۰ دور بر دقیقه، تعیین گردید.

مقدمه

درحال‌حاضر، تغییر در شیوهٔ زندگی، عدم تحرک و عادت‌های بد غذایی مخاطرات جدیدی را در سراسر دنیا به‌وجودآورده است. شیوع روزافزون چاقی، دیابت، سرطان، چربی خون، بی‌شک ارتباط مستقیمی با الگوی مصرف مواد غذایی دارد. ازاین‌رو، با پیشرفت علم و دانش بشری، تمایلات عمومی در جهت تغییر در رژیم غذایی و مصرف مواد غذایی با کالری پایین و اندیس گلایسمی[۱] پایین که دارای اثرات مفید و سلامت‌بخش در بدن هستند، سوق پیدا کرده است (Bachknudsen, 2001). یکی از این تغییرات در رژیم غذایی، جای‌دادن فیبرهای

[1] Glycemic Index (GI)

رژیمی به‌عنوان یکی از اجزای مواد غذایی فراسودمند می‌باشد. حضور فیبرهای رژیمی در رژیم غذایی اثرات مثبتی بر سلامت دارد به‌طوری‌که سبب کاهش بیماری‌های قلبی ـ عروقی، گوارشی، کلسترول خون، دیابت و سرطان روده در افراد می‌گردد (Yangilar, 2013). این ترکیبات علاوه‌بر اثرات مفیدی که بر سلامتی دارند، به‌دلیل ویژگی‌های تکنولوژیکی مناسب نظیر جذب آب، جذب روغن و افزایش لزجت، در صنایع غذایی نیز کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند (Dhingra, 2012). فیبرها به‌عنوان جایگزین چربی در فراورده‌های گوشتی (Mansour & Khalil, 1997)، غنی‌کنندهٔ نان و فراورده‌های پخت (Hematian Sourki *et al*., 2013)، کنترل‌کنندهٔ کریستالیزاسیون در بستنی (Regand & Goff, 2003) و فراورده‌های لبنی استفاده می‌شوند (Soukoulis *et al*., 2009). آب‌میوه، مربا (Grigelmo-Miguel *et al*., 1999) و سوپ (Lyly *et al*., 2004) از دیگر فراورده‌های غنی‌شده با فیبر رژیمی هستند. میزان فیبر توصیه‌شده توسط سازمان غذا و داروی امریکا[1] (۲۰۰۵) جهت مصرف روزانه ۲۵ تا ۳۸ گرم در روز می‌باشد و فراورده‌هایی که تحت عنوان (غنی‌شده با فیبر) و (میزان فیبر بالا) برچسب‌زنی، به‌ترتیب باید حاوی ۲/۵ و ۵ گرم فیبر در هر وعده باشند (FDA, 2005). درحال‌حاضر تنوع زیادی برای مواد اولیه‌ای که فیبرهای خوراکی از آنها به‌دست می‌آید، وجود دارد. دراین‌زمینه، فراورده‌های جانبی کارخانه‌های صنایع غذایی از اهمیت زیادی برخوردارند. فراورده‌های جانبی این کارخانه‌ها مانند تفالهٔ میوه‌ها و یا سبوس غلات علاوه‌بر ارزان‌بودن و حجم انبوه تولید، منابعی سرشار از پروتئین، ویتامین، فیبر رژیمی و انواع ریزمغذی‌ها می‌باشند (Kosseva, 2013).

تفالهٔ گوجه‌فرنگی منبعی غنی از فیبر رژیمی و پروتئین است که پس از فراوری گوجه‌فرنگی برای تهیهٔ عصاره[2]، پوره[3]، رب[4] و سس‌گوجه[5] به‌دست می‌آید و شامل پوست، دانهٔ گوجه‌فرنگی و مقداری پالپ است که حدود ۳ درصد وزنی گوجه‌فرنگی اولیه می‌باشد. آنالیز شیمیایی گوجه‌فرنگی نشان می‌دهد که دانهٔ گوجه‌فرنگی حاوی ۲۰ درصد پروتئین، ۲۰ درصد چربی، ۵ درصد خاکستر و ۵۳ درصد فیبر رژیمی می‌باشد. پوست گوجه‌فرنگی نیز حاوی ۱۰/۸ درصد پروتئین، ۲۵/۶ درصد خاکستر، ۰/۰۱۶ درصد ویتامین C و ۳۰ درصد فیبر رژیمی می‌باشد (Davies & Hobson, 1981). تفالهٔ گوجه‌فرنگی علی‌رغم دارابودن ارزش غذایی مناسب و پتانسیل ایجاد ارزش افزوده، به‌علت عدم دسترسی به فرایند مناسب به‌صورت ضایعات دفع می‌شود.

سبوس دانه‌های غلاتی نظیر برنج، نیز یکی دیگر از منابع مهم تأمین‌کنندهٔ فیبر غذایی می‌باشد که معمولاً در ضایعات کارخانه‌های فراوری دانه‌ها وارد می‌شود. سبوس برنج به‌عنوان یک فراوردهٔ جانبی طی فرایند شالیکوبی به‌دست می‌آید و درحال‌حاضر در خوشبینانه‌ترین حالت عمدتاً به‌مصرف خوراک دام رسیده یا دور ریخته می‌شود. درصورتی‌که می‌تواند به‌عنوان یک ترکیب فراسودمند در مواد غذایی مورداستفاده قرار گیرد. سبوس برنج که از چندین جزء شامل پریکارپ[6]، لایهٔ آلرون[7]، جنین[8] و قسمتی از آندوسپرم[9] نشاسته‌ای تشکیل‌شده، در حدود ۱۰ درصد از دانهٔ برنج را تشکیل می‌دهد (Ghandi & Sogi, 2007). ازنظر تغذیه‌ای سبوس برنج غنی از موادی نظیر پروتئین (۱۶-۱۲ درصد)، چربی (۲۲-۱۶ درصد) و فیبرخام (۱۲-۸ درصد) بوده و همچنین منبع غنی، از ویتامین‌ها و مواد معدنی (۷ درصد) نظیر تیامین، نیاسین، آلومینیوم، کلر، آهن، منیزیم، فسفر، پتاسیم، سیلیسیوم، سدیم و روی به‌حساب می‌آید (Manilal, 2005). سبوس برنج حاوی ۲۹-۲۴ درصد فیبر رژیمی (فیبر رژیمی محلول ۴-۲ درصد و فیبر رژیمی نامحلول ۲۴/۵-۲۰ درصد) می‌باشد. بااین‌وجود، ازآنجاکه سبوس برنج حاوی چندین فاکتور ضدتغذیه‌ای ازقبیل انواع آنزیم و فیتات است افزودن آن به فراورده‌های غذایی دارای مقبولیت کمی است (Charunuch *et al*., 2014). از عمده‌ترین روش‌های تثبیت و فراوری سبوس برنج با هدف غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها و کاهش میزان اسیدفیتیک انجام عملیات حرارتی است. در سال‌های اخیر فناوری اکستروژن

[1] Food and Drug Administration (FDA)
[2] Tomato Juice
[3] Tomato Puree
[4] Tomato Paste
[5] Tomato Ketchup
[6] Pericarp
[7] Aleurone
[8] Germ
[9] Endosperm

به‌دلیل اعمال توأم حرارت و فشار در زمان کوتاه به روش منحصربه‌فردی در فراوری انواع سبوس در مقیاس صنعتی تبدیل شده است. طی فرایند اکستروژن مواد اولیه وارد مخلوط‌کن شده و همزمان طی حرارت‌دهی، در دمای بالا تحت‌تأثیر انرژی مکانیکی حاصل از سرعت چرخش بالای مارپیچ فرم‌دهی می‌شوند. عملیات مکانیکی ـ حرارتی طی اکستروژن موجب ژلاتینه‌شدن و افزایش قابلیت هضم نشاسته، دناتوره‌شدن پروتئین‌ها، افزایش میزان فیبر رژیمی محلول و غیرفعال‌کردن ترکیبات نامطلوب نظیر آنزیم‌ها، میکروب‌ها و بسیاری از عوامل ضدتغذیه‌ای می‌گردد (Moscicki, 2011). درهمین‌راستا، Rashid و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر شرایط اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس گندم پرداختند نتایج آنها نشان داد که در فرایند پخت اکستروژن میزان فیبر رژیمی کل و فیبر محلول افزایش و فیبر نامحلول کاهش می‌یابد. Charunuch و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثرات متغیرهای سطوح افزودن سبوس برنج (۲۰-۱۰ درصد)، دمای پخت اکسترودر (۱۵۰-۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و میزان رطوبت خوراک (۲۰-۱۴ درصد) در فرایند تهیهٔ غلات صبحانه پرداخته و نشان دادند افزودن سبوس برنج به فرمولاسیون باعث افزایش میزان فیبر رژیمی کل، فیبر رژیمی نامحلول، سختی و دانسیتهٔ تودهٔ فراورده گردید. درحالی‌که شاخص جذب آب کاهش یافت. Zhang و همکاران (۲۰۱۰)، در پژوهشی با روش سطح پاسخ به بررسی و بهینه‌یابی اثر دمای پخت، تأثیر اندازهٔ ذرات سبوس برنج و میزان رطوبت بر ویژگی‌های عملکردی و میزان تولید فیبر رژیمی محلول سبوس برنج پرداختند. نتایج آنها نشان داد شرایط بهینه شامل اندازهٔ ذرات سبوس برنج (۰/۱۷۵ میلی‌متر)، میزان رطوبت (۳۳ درصد)، و دمای اکسترودر (۱۶۴ درجهٔ سانتی‌گراد) بود و هر ۳ فاکتور اندازهٔ ذرات سبوس برنج، میزان رطوبت و دمای پخت به‌طور چشمگیری میزان فیبر رژیمی محلول را افزایش دادند. فرایند اکستروژن ویژگی‌های عملکردی سبوس برنج شامل ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت جذب آب، ظرفیت جذب روغن و میزان فیبر رژیمی محلول را بهبود بخشید. Huang و Ma (۲۰۱۶) در پژوهشی تفالهٔ پرتقال را در یک اکسترودر تک‌مارپیچی فرایندکرده و ویژگی‌های حلالیت در آب، جذب آب، جذب روغن، تورم و دانسیتهٔ تودهٔ فراوردهٔ نهایی را ارزیابی کردند. متغیرهای فرایند و فرمولاسیون شامل دمای پخت اکستروژن (۱۳۵-۱۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد)، سرعت چرخش مارپیچ (۲۳۰-۳۵۰ دور بر دقیقه) و رطوبت خوراک (۱۸-۱۰ درصد) بود. نتایج آنها نشان داد اکسترود تفالهٔ پرتقال سبب بهبود کلیهٔ ویژگی‌های عملکردی نظیر حلالیت در آب، جذب آب، تورم و دانسیتهٔ توده به استثنای جذب روغن در مقایسه با نمونهٔ خام گردید.

Mendez-Garcia و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعهٔ خود به بررسی تأثیر متغیرهای فرایند اکستروژن شامل دما (۵۹/۷۷ درجهٔ سانتی‌گراد)، رطوبت (۶۶/۸۲-۳۳/۱۸ درصد) و سرعت چرخش مارپیچ (۳۶/۸۲-۳/۱۸ دور بر دقیقه) بر خصوصیات فیبر رژیمی پسماند لیمو پرداختند. نتایج آنها نشان داد فرایند اکستروژن قابلیت تبدیل فیبر رژیمی نامحلول به فیبر رژیمی محلول در پسماند لیمو را داشت.

هدف از این پژوهش، امکان کاربرد فناوری اکستروژن در تولید مکمل فیبری فراسودمند از مخلوط فراورده‌های جانبی حاصل از فراوری گوجه‌فرنگی و برنج (تفالهٔ گوجه‌فرنگی و سبوس برنج) تحت‌شرایط فرایند شامل سرعت چرخش مارپیچ (۱۶۰-۱۲۰ دور بر دقیقه)، رطوبت (۱۸-۱۲ درصد) و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج (۷۵-۲۵ درصد) و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی فراوردهٔ نهایی شامل شاخص جذب آب، تورم، میزان سختی و فیبر رژیمی محلول و تعیین شرایط بهینهٔ تولید مکمل فیبری فراسودمند بود.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

سبوس برنج (واریتهٔ هاشمی)، سریعاً بعد از آسیاب از یکی از کارخانه‌های شالیکوبی شهرستان رامسر (مازندران، ایران) خریداری شد. به‌منظور حذف اثرات احتمالی ناشی از انبارداری بر خصوصیات سبوس، از محصول تازه برداشت‌شده استفاده گردید. تفالهٔ گوجه‌فرنگی از کارخانهٔ رب گوجه‌فرنگی چین‌چین (مشهد، ایران) تهیه گردید.

آماده‌سازی تفالهٔ گوجه‌فرنگی

تفاله‌ها با ضخامت ۱ سانتی‌متر در آون (مدل Stal-Astra،

ساخت آمریکا) با دمای ۵±۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت با جریان هوای ۳ متر بر ثانیه تا رسیدن به رطوبت ۰/۵±۳/۵ برحسب وزن مرطوب (درصد) خشک‌شده سپس آسیاب (مدلA11، ساخت آلمان) و برای یکنواختی ابعاد از مش ۲۰ عبور داده شدند و پس از تعیین رطوبت در کیسه‌های پلی‌اتیلنی مقاوم به نفوذ رطوبت، بسته‌بندی و تا انجام آزمایش‌ها در یخچال با دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند (Dhungana *et al*., 2014).

آماده‌سازی سبوس برنج

باقی‌ماندهٔ دانه‌های برنج با استفاده از الک شمارهٔ ۲۰ از سبوس‌برنج جدا و سبوس حاصل در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم به نفوذ رطوبت بسته‌بندی گردید و تا انجام آزمایش‌ها در دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد (Kim *et al*., 1987).

آنالیز ترکیبات شیمیایی

آزمایش‌هایی که روی مواد اولیه (تفالهٔ گوجه‌فرنگی و سبوس برنج) صورت گرفت شامل اندازه‌گیری چربی به روش سوکسله (پروانه، ۱۳۸۵)، اندازه‌گیری پروتئین به روش کجلدال (AOAC, 2000)، اندازه‌گیری خاکستر (AOAC, 2000)، اندازه‌گیری رطوبت (AACC, 2000) و اندازه‌گیری فیبر رژیمی محلول، نامحلول و کل (AOAC, 2000) بود.

تهیهٔ فرمولاسیون مخلوط پایه برای اکستروژن

برای تهیهٔ مخلوط پایهٔ اکستروژن تفالهٔ گوجه‌فرنگی به نسبت‌های مشخص با سبوس برنج (۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ درصد وزنی:وزنی) مخلوط گردید. برای تنظیم رطوبت نمونهٔ نهایی از فرمول مربع پیرسون استفاده شد. نمونه‌ها پس از مخلوط‌کردن، در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و برای به تعادل رسیدن رطوبت، به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شدند (Selani *et al*., 2014).

شرایط فرایند اکستروژن

به‌منظور فرمولاسیون و تهیهٔ نمونه‌های اکسترودشده از دستگاه اکسترودر دو مارپیچی (مدل DS56، شرکت Jinan Saxin، ساخت چین) با چرخش هم‌جهت و نسبت طول به قطر (L/D) ۱۵ میلی‌متر و قطر روزنهٔ خروجی، ۴ میلی‌متر استفاده گردید. دامنهٔ سرعت چرخش مارپیچ (۱۶۰-۱۲۰ دور بر دقیقه)، سرعت ورود خوراک و دمای فرایند ثابت و به‌ترتیب برابر ۴۰ کیلوگرم بر ساعت و ۱۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد تعیین گردید. نمونه‌های اکسترودشدهٔ تولیدی پس از جمع‌آوری، در آون هوای داغ (مدل Stal-Astra، ساخت آمریکا) به مدت ۲ ساعت در ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت نهایی ۳-۲ درصد، خشک و توسط آسیاب‌برقی (مدل A11، ساخت آلمان) خردشده و با عبور از الک با مش۴۰ (۴۲۰ میکرون) دانه‌بندی گردیدند و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و تا انجام آزمایش‌ها در یخچال نگهداری شدند (Selani *et al*., 2014; Potter *et al*., 2013).

آزمایش‌های عملکردی و فیزیکوشیمیایی فراوردهٔ نهایی

اندازه‌گیری شاخص جذب آب[1]

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص جذب آب از روش تغییر یافتهٔ Wong و Cheung (۲۰۰۴) استفاده شد. به‌این‌منظور ۱ گرم نمونه با ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر درون لوله‌های سانتریفیوژ از پیش توزین‌شده مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط نگهداری شد سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد با دور ۳۰۰۰×g سانتریفیوژ شدند. در انتها مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ جداشده و ژل باقی‌مانده توزین شد و شاخص جذب آب از رابطهٔ (۱) محاسبه شد:

رابطهٔ (۱)

$$\text{شاخص جذب آب} = \frac{m_g}{m_s}$$

در رابطهٔ (۱)، m_g: وزن ژل باقی‌مانده برحسب گرم و m_s: وزن نمونه برحسب گرم می‌باشد.

اندازه‌گیری تورم

برای محاسبهٔ تورم از روش Robertson و همکاران (۲۰۰۰) با کمی تغییر استفاده شد. ۰/۲ گرم از نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر در استوانهٔ مدرج ریخته و به مدت

[1] Water Adsorption Index (WAI)

۱۲ ساعت نگهداری شد. ظرفیت تورم براساس میزان حجم ایجادشده از نمونه پس از ۱۲ ساعت بر وزن اولیهٔ نمونه برحسب میلی‌لیتر بر گرم محاسبه گردید.

ارزیابی بافت

برای اندازه‌گیری سختی[1] بافت فراورده از دستگاه آنالیز بافت (مدل TA Plus، LLOYD، ساخت انگلستان) و آزمون فشردگی[2] استفاده شد. به‌این‌منظور نمونهٔ پودری تا ارتفاع ۲ سانتی‌متر درون یک سیلندر توخالی به قطر ۱۲ میلی‌متر ریخته شد. یک پروب استیل به قطر ۶ میلی‌متر و طول ۳۵۰ میلی‌متر پایین آمده و نمونه را تا عمق نفوذ ۱۰ میلی‌متر فشرده نمود. بیشینهٔ نیروی واردشده برحسب نیوتن توسط دستگاه به‌عنوان سختی اعلام شد (Thuwapanichayanan *et al.*, 2008).

اندازه‌گیری فیبر رژیمی محلول

اندازه‌گیری فیبر رژیمی محلول براساس روش Prosky و همکاران (۱۹۸۸) و با استفاده از کیت آنزیمی فیبر رژیمی (Megazyme، Bray، ساخت ایرلند) انجام شد (AOAC, 2000). به‌این‌منظور ابتدا ۱ گرم از نمونه در ۵۰ میلی‌لیتر فسفات بافر با pH=۶ مخلوط‌شده و نمونهٔ حاصل به‌ترتیب با آنزیم‌های آلفا آمیلاز مقاوم به حرارت، پروتئاز و آمیلوگلوکوزیداز توسط حمام آب (مدل Memmert، ساخت آلمان) با دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه گرمخانه‌گذاری شد. پس از اتمام تیمارهای آنزیمی، محتویات ظرف توسط قیف[3] پیرکس G_2 (با اندازهٔ منافذ ۶۰-۴۰ میکرون) متصل به پمپ خلأ فیلتر شد. فاز مایعی که از قیف عبور کرد، جداگانه جمع‌آوری شد. تفاله‌ای که روی قیف باقی‌ماند، با آب دیونیزه، اتانول ۹۵ درصد و استون شست‌وشو داده شد. سپس قیف را در آون ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خشک و وزن آن برای محاسبهٔ مقدار فیبر رژیمی نامحلول یادداشت گردید سپس پسابی که از قیف عبور کرده بود، با ۴ برابر حجم آن از اتانول مخلوط گردید. پس از گذشت مدت زمان ۱ ساعت، فیلتراسیون با قیف انجام شد و قیف به مدت ۵ ساعت در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک و وزن آن برای محاسبهٔ مقدار فیبر رژیمی محلول یادداشت گردید. از جمع‌کردن مقادیر فیبر رژیمی محلول و فیبر رژیمی نامحلول، مقدار فیبر رژیمی کل به‌دست آمد. تصحیح پروتئین و خاکستر با ۲ تکرار هم برای فیبر رژیمی محلول و هم برای فیبر رژیمی نامحلول انجام گردید به‌این‌ترتیب که برای تکرار اول فیبر رژیمی نامحلول (قیف شمارهٔ ۱) و برای تکرار دوم فیبر رژیمی نامحلول (قیف شمارهٔ ۲) در نظر گرفته شد به‌طور مثال مقدار ۰/۱ گرم (۱۰۰ میلی‌گرم) فیبر نامحلول در قیف شمارهٔ ۱ جمع‌آوری گردید و آزمون خاکستر برای این مقدار انجام شد میزان خاکستر ۵ درصد حاصل شد آزمون پروتئین برای محتویات فیبر رژیمی نامحلول جمع‌آوری‌شده در قیف شمارهٔ ۲ (۱۴۰ میلی‌گرم) انجام گرفت. نتیجهٔ آزمون پروتئین ۸ درصد حاصل شد یعنی ۸ درصد از فیبر رژیمی نامحلول حاوی پروتئین است که با آنزیم پروتئاز حذف نشده است ۸ درصد ۱۴۰ میلی‌گرم ۱۱ میلی‌گرم می‌شود. قیف شمارهٔ ۱ حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم فیبر نامحلول بود. ۵ درصد خاکستر ۵ میلی‌گرم می‌شود، ۸ درصد پروتئین ۸ میلی‌گرم می‌شود. مجموعاً ۱۳ میلی‌گرم ناخالصی را از ۱۰۰ میلی‌گرم کم می‌کنیم که ۸۷ میلی‌گرم فیبر نامحلول خالص به‌دست می‌آید. برای قیف شمارهٔ ۲ هم همین‌طور، ۵ درصد خاکستر (۱۴۰×۰/۰۵) ۷ میلی‌گرم می‌شود، ۸ درصد پروتئین (۱۴۰×۰/۰۸) ۱۱ میلی‌گرم می‌شود، مجموعاً ۱۸ میلی‌گرم ناخالصی را از ۱۴۰ میلی‌گرم کم می‌کنیم ۱۲۲ میلی‌گرم فیبر نامحلول خالص به‌دست می‌آید. فیبر رژیمی محلول هم به‌همین‌صورت تصحیح گردید.

آنالیز آماری

در این پژوهش طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر[4] با ۳ متغیر مستقل و ۶ تکرار در نقطهٔ مرکزی، جهت یافتن اثر متغیرهای مستقل (سرعت چرخش مارپیچ، میزان رطوبت و سطوح افزودن تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج) بر ویژگی‌های عملکردی و فیزیکوشیمیایی مکمل فیبری مورداستفاده قرار گرفت. سطوح متغیرهای مستقل به‌صورت حقیقی و کدشده در جدول (۱)،

[1] Hardness
[2] Compressive
[3] Fritted crucible, fritted disk
[4] Rotatable Central Composite Design (RCCD)

ارائه‌شده است. مدل‌های مختلفی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها برازش‌داده شد و بهترین مدل باتوجه‌به نتایج آنالیز واریانس انتخاب گردید. از نرم‌افزار Design Expert نسخهٔ ۷.۱.۶ جهت تجزیه‌وتحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ استفاده شد.

جدول ۱ - سطوح متغیرهای مستقل فرایند و کدهای مربوطه

متغیرهای مستقل	نمادریاضی	کد و سطح مربوطه		
		-۱	۰	+۱
سرعت چرخش مارپیچ (دور بر دقیقه)	X_1	۱۲۰	۱۴۰	۱۶۰
رطوبت (درصد)	X_2	۱۲	۱۵	۱۸
نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج (درصد)	X_3	۲۵	۵۰	۷۵

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی

ترکیب شیمیایی مواد اولیهٔ مصرفی در فرمولاسیون مکمل فیبری در این پژوهش، از نقطه‌نظر میزان پروتئین، چربی، خاکستر، رطوبت، فیبر رژیمی محلول، نامحلول و کل در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی مواد اولیهٔ مصرفی در فرمولاسیون مکمل فیبری

مواد اولیه	رطوبت (درصد)	چربی (درصد)	پروتئین (درصد)	خاکستر (درصد)	فیبر رژیمی محلول (درصد)	فیبر رژیمی نامحلول (درصد)	فیبر رژیمی کل (درصد)
سبوس برنج	۶/۰۴	۱۰/۹۹	۸/۴۵	۱۱/۸۷	۱/۲	۴۷/۸	۴۹
تفالهٔ گوجه‌فرنگی	۵/۷۷	۱۱/۱۴	۱۳/۰۵	۳/۴۴	۲/۷۳	۵۶/۳	۵۹/۰۳

*ترکیب شیمیایی مواد اولیه براساس وزن مرطوب (درصد) گزارش شده است.

تأثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر میزان شاخص جذب آب مکمل فیبری

ویژگی‌های آب‌پوشی[1] فیبرها ازطریق اندازه‌گیری میزان جذب آب و تورم تعیین می‌گردد و تعیین‌کنندهٔ سطح بهینهٔ استفاده از فیبر در فراورده‌های غذایی می‌باشند. برای مثال، از فیبرهایی با ظرفیت جذب آب بالا برای کاهش آب‌اندازی[2]، افزایش لزجت و بهبود بافت استفاده می‌شود. ازنظر آماری مدل بهینهٔ پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای شاخص جذب آب مکمل فیبری، مدل چندجمله‌ای درجهٔ دوم بود (P<۰/۰۵). نتایج آنالیز واریانس (جدول ۳)، نشان داد عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل اثر مستقل نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، اثر متقابل سرعت چرخش مارپیچ و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بودند (P<۰/۰۵). چنانچه مشاهده می‌شود آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. باتوجه‌به پارامترهای دارای اثر معنی‌دار، مدل برازش داده‌شده برای شاخص جذب آب به‌صورت رابطهٔ (۲) می‌باشد:

رابطهٔ (۲)

شاخص جذب آب = +۴/۱۲+ ۰/۴۵C+ ۰/۴۷ BC

میزان شاخص جذب آب برای نمونه‌های تولیدشده بین (۳/۳۶ تا ۵/۵۵ گرم در گرم نمونه) تعیین گردید.

همچنین محدودهٔ شاخص حلالیت در آب در این پژوهش بین ۱۲/۵ تا ۲۳ گرم در ۱۰۰ گرم نمونه بود. Larrea و همکاران (۲۰۰۵) برای پالپ پرتقال اکسترودشده محدودهٔ حلالیت در آب را بین ۱۳/۷۱- ۲۹/۳۲ گرم در ۱۰۰ گرم نمونه گزارش نمودند.

در شکل (۱)، اثر همزمان دو متغیر سرعت چرخش مارپیچ و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در رطوبت ثابت (۱۵ درصد) بر شاخص جذب آب نشان داده شده است. براین‌اساس، با افزایش سرعت چرخش مارپیچ میزان شاخص جذب آب افزایش یافت. همچنین افزایش سطوح افزودن تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج

[1] Hydration Properties
[2] Syneresis

نیز باعث افزایش شاخص جذب آب گردید، طوری که بیشینهٔ این شاخص (۵/۱۳) در نسبت ۷۵ درصد تفالهٔ گوجه‌فرنگی و سرعت چرخش مارپیچ ۱۶۰ دور بر دقیقه مشاهده شد. افزایش شاخص جذب آب نمونه‌های تولیدی با افزایش سرعت چرخش مارپیچ ممکن است به‌دلیل اصلاح ساختار برخی ترکیبات تفالهٔ گوجه‌فرنگی (فیبر رژیمی) با افزایش سرعت چرخش مارپیچ اتفاق بیفتد افزایش انرژی ویژهٔ مکانیکی[1] در اثر افزایش سرعت چرخش مارپیچ احتمالاً ساختار فیبر را بیشتر بازکرده و باعث می‌شود آب بیشتری وارد فیبر گردد و در معرض گروه‌های آب‌دوست قرار بگیرد (Altan *et al*., 2009).

باتوجه‌به جدول (۲)، افزایش شاخص جذب آب با افزایش سطوح افزودن تفالهٔ گوجه‌فرنگی ناشی از میزان پروتئین و فیبر رژیمی کل بیشتر در تفالهٔ گوجه‌فرنگی در مقایسه با سبوس برنج بود. ترکیبات پروتئینی به‌واسطهٔ خاصیت آب‌دوستی بیشتر سبب افزایش جذب آب می‌گردند (Yagci & Gogus, 2008). نتایج فوق با نتایج سایر محققین درمورد فراورده‌های اکسترودشده بر پایهٔ فیبر باگاس نیشکر (Martinez-Bustos *et al*., 2011) پسماند ترکیبی از میوه‌ها (Stojceska *et al*., 2010) و پالپ چغندرقند (Rouilly *et al*., 2006) نیز مطابقت داشت.

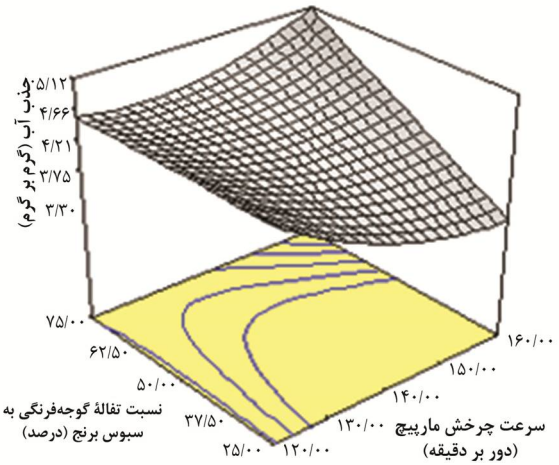
Huang و Ma (۲۰۱۶) افزایش در میزان فیبر رژیمی محلول تفالهٔ پرتقال را دلیل افزایش شاخص جذب آب بیان کردند.

Daou و Zhang (۲۰۱۲) طی مطالعهٔ خود روی خواص عملکردی و فیزیکی فیبرهای رژیمی اصلاح‌شدهٔ سبوس برنج روغن‌گیری‌شده بیان نمودند اکستروژن، ساختار فیبری را به‌دلیل برش مکانیکی، تحت فشار و حرارت باز می‌کند و باعث ایجاد گروه‌های هیدروکسیل آزاد از سلولز شده و توانایی پیوند با آب را افزایش می‌دهد.

Chang و همکاران (۱۹۹۸) در پژوهش خود دناتوراسیون پروتئین‌ها و تورم فیبرها را مسئول افزایش میزان جذب آب در فراورده‌های اکسترودشدهٔ حاوی آرد ذرت بیان نمودند.

جدول ۳ - نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ چندجمله‌ای درجهٔ دوم برای شاخص جذب آب (WAI)

منبع	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۵/۹۲	۹	۰/۶۶	۸/۷۰	۰/۰۰۱۱
C (نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج)	۱/۹۹	۱	۱/۹۹	۲۶/۳۲	۰/۰۰۰۴
B×C	۱/۷۳	۱	۱/۷۳	۲۲/۸۹	۰/۰۰۰۷
ضعف برازش	۰/۴۵	۵	۰/۰۹	۱/۴۵	۰/۳۴۵۶
خطا	۰/۳۱	۵	۰/۰۶۲	-	-



شکل ۱ - اثر متقابل سرعت چرخش مارپیچ و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در رطوبت ثابت ۱۵ درصد بر میزان شاخص جذب آب مکمل فیبری

[1] Specific Mechanical Energy (SME)

تأثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر میزان تورم مکمل فیبری

حجمی از آب که توسط وزن مشخصی از فیبر به‌دام‌می‌افتد، تورم نامیده می‌شود. تغییرات در چگونگی اثر متقابل فیبر رژیمی با آب پس از فرایند اکستروژن با اندازه‌گیری تورم می‌تواند، مشاهده شود. هنگامی که آب وارد ساختار فیبر می‌شود، درشت مولکول‌ها را پراکنده می‌سازد (تورم) تا هنگامی که کاملاً پراکنده شوند. مولکول‌هایی مانند سلولز به‌دلیل ساختار[1] خاص خود به پراکندگی نهایی نمی‌رسند، یعنی متورم می‌شوند اما حل نمی‌شوند (Thebaudin *et al*., 1997). بنابراین احتمالاً آمورف‌شدن سلولز و ایجاد فضاهای خالی در شبکهٔ لیگنوسلولزی[2] سبب افزایش نفوذ آب به آن و افزایش تورم می‌شود.

مدل پیشنهادی نرم‌افزار جهت آنالیز میزان تورم مکمل فیبری، مدل چندجمله‌ای درجهٔ اول بود. نتایج حاصل از آنالیز واریانس (جدول ۴) در این قسمت نشان داد اثر مستقل نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ($P<۰/۰۱$) و اثر متقابل رطوبت ـ نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بر میزان تورم فراوردهٔ اکسترودشده معنی‌دار می‌باشد ($P<۰/۰۵$).

باتوجه‌به متغیرهای دارای اثر معنی‌دار، مدل برازش‌داده‌شده برای تورم مکمل فیبری به‌صورت رابطهٔ (۳) می‌باشد:

رابطهٔ (۳)

میزان تورم = ۵/۰۵+ + ۰/۸۵C + ۰/۴۴AC

در شکل (۲)، اثر متقابل رطوبت ـ نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت چرخش مارپیچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر میزان تورم مکمل فیبری نشان داده شده است. براین‌اساس، افزایش هرکدام از متغیرهای رطوبت و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج به‌طور خطی باعث افزایش میزان تورم مکمل فیبری گردید. بالاترین مقدار تورم (۶/۳۸) در بالاترین مقدار نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج (۷۵ درصد) و بالاترین مقدار رطوبت (۱۸ درصد) مشاهده گردید.

فرایند اکستروژن به‌واسطهٔ اعمال همزمان دما و نیروی برشی بالا سبب تغییر ساختار سه‌بُعدی فیبر رژیمی، افزایش میزان فیبر رژیمی محلول به‌ویژه پلی‌ساکارید پکتین در فراورده می‌گردد همچنین با افزایش مولکول‌های محلول با زنجیرهٔ کوتاه به‌طور قابل‌توجهی بر ساختار فیبر تأثیر می‌گذارد و سبب افزایش میزان آب محصور در میان ساختار متخلخل فیبر می‌شود (Huang & Ma, 2016).

افزایش میزان تورم با افزایش نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی احتمالاً به‌دلیل، افزایش میزان پکتین و حضور مقادیر بیشتر گروه‌های آب‌دوست و همچنین تأثیر ویژگی‌های فیزیکی نظیر اندازهٔ ذرات و تخلخل می‌باشد (Lopez *et al*., 1996). درهمین‌راستا، Zhang و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش خود ظرفیت تورم بالای سبوس جو دوسر اکسترودشده را به تشکیل فراکسیون‌های فیبر رژیمی محلول، حفره‌های ریز و توسعهٔ ساختار متخلخل آن طی فرایند اکستروژن نسبت دادند. در پژوهش دیگری اصلاح فیبر رژیمی ذرت با فرایند اکستروژن منجربه‌کاهش در اندازهٔ ذرات و افزایش تخلخل و تورم گردید (Ning *et al*., 1991).

Zhang و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی اثر فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های فیبر رژیمی محلول سبوس جو دوسر قدرت تورم بالا را به حضور تعداد زیاد زنجیره‌های طویل فیبر رژیمی نسبت دادند.

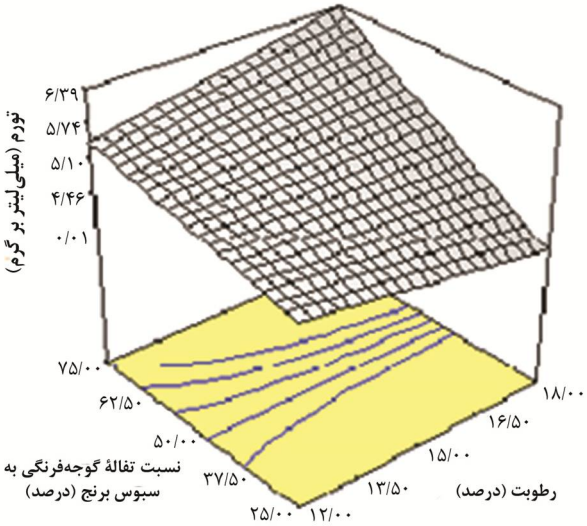
بااین‌حال Ralet و همکاران (۱۹۹۱) در پژوهش خود گزارش کردند فرایند اکستروژن میزان تورم نمونه‌های اکسترودشدهٔ پالپ چغندرقند را کاهش داد علت این امر تضعیف ساختار دیوارهٔ سلولی با افزایش شدت فرایند اکستروژن (دمای بیش از ۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد و سرعت چرخش مارپیچ بیش از ۱۵۰ دور بر دقیقه) بیان گردید.

باید ذکر شود که سبوس برنج یک ترکیب لیگنوسلولزی بوده که ظرفیت نگهداری آب کمی دارد. این به‌دلیل حضور لیگنین و همی‌سلولز بوده که مانع ورود آب به ساختار داخلی سبوس شده و ازطرفی ساختار کریستالهٔ پلیمر سلولز نیز این امر را تشدید می‌کند (Galdeano & Grossmann, 2005). تیمار ترکیبات لیگنوسلولزی تحت شرایط فرایند اکستروژن ازطریق قطع پیوندهای هیدروژنی میان و درون شاخه‌ها، باعث کاهش درجهٔ کریستالیزاسیون سلولز می‌شود. در ساختار داخلی باز ایجادشده، گروه‌های هیدروکسیل آزاد تمایل به برقراری پیوند با مولکول‌های آب را داشته و این امر موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب و قابلیت تورم‌یافتگی می‌شود (Gould, 1989; Galdeano & Grossmann, 2005).

[1] Conformation
[2] Lignocellulosic

جدول ۴ - نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ چندجمله‌ای درجهٔ اول برای میزان تورم

منبع	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۹/۹۷	۶	۱/۶۶	۸/۷۰	۰/۰۰۰۶
C (نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج)	۷/۲۳	۱	۷/۲۳	۳۷/۸۵	<۰/۰۰۰۱
A×C	۱/۵۳	۱	۱/۵۳	۸/۰۲	۰/۰۱۴۱
ضعف برازش	۲/۱۱	۸	۰/۲۶	۳/۵۱	۰/۰۹۱۴
خطا	۰/۳۷	۵	۰/۰۷۵	-	-



شکل ۲ - اثر متقابل رطوبت و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت مارپیچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر میزان تورم مکمل فیبری

تأثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر میزان سختی بافت مکمل فیبری

مطابق جدول آنالیز واریانس (جدول ۵) مدل چندجمله‌ای درجهٔ دوم با ($P<۰/۰۱$) بر پاسخ معنی‌دار بود. آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل اثر مستقل رطوبت ($P<۰/۰۱$) و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بودند ($P<۰/۰۵$). معادلهٔ برازش‌داده‌شده برای میزان سختی به‌صورت رابطهٔ (۴) می‌باشد:

رابطهٔ (۴)

میزان سختی = +۸۶/۵۸ − ۳۵/۶۴ A +۱۱/۱۷C

میزان سختی مکمل فیبری در محدودهٔ (۴۴ تا ۱۵۱ نیوتن) اندازه‌گیری گردید. در شکل (۳)، تأثیر مستقل رطوبت و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت مارپیچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر میزان سختی مکمل فیبری نشان داده شده است. همان‌طورکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود در مقادیر بیشینه نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج (۷۵:۲۵) افزایش رطوبت سبب کاهش فاکتور سختی گردید. دلیل این پدیده را می‌توان به حضور پلی‌ساکاریدهای محلول پکتین در ساختار تفالهٔ گوجه‌فرنگی و تأثیر آن در حفظ و نگهداری رطوبت نسبت داد. نتایج پژوهش با نتایج O'Shea و همکاران (۲۰۱۳) مبنی بر تأثیر حضور پکتین تفالهٔ سیب اکسترودشده در افزایش میزان رطوبت و کاهش سختی بافت فراورده مطابقت داشت. بااین‌وجود مشاهده می‌شود افزایش نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی در کمترین میزان رطوبت (۱۲ درصد) سهم بیشتری در افزایش سختی داشت در این حالت نیز میزان پکتین موجود در تفالهٔ گوجه‌فرنگی به‌دلیل عدم اتصال با آب کافی سبب افزایش ضخامت دیوارهٔ سلولی گردیده و این اثر سبب افزایش سختی بافت فراورده شده است. افزایش سختی در نتیجهٔ افزایش پودر تفالهٔ گوجه‌فرنگی با نتایج سایر پژوهش‌ها

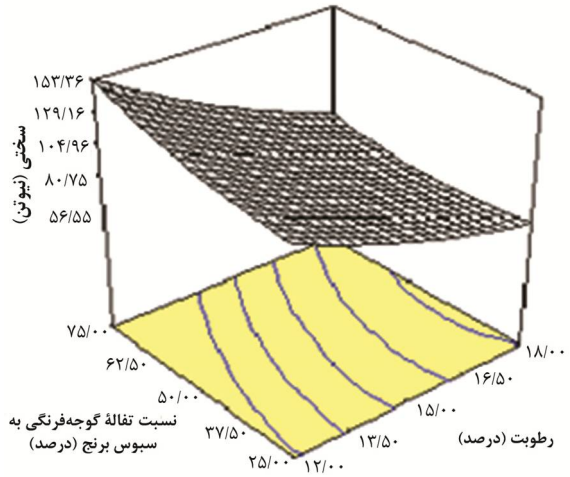
مطابقت داشت (Altan *et al*., 2009; Kumar *et al*., 2010; Dhungana *et al*., 2014).

Moraru و Kokini (۲۰۰۳) بیان نمودند فیبرها همچنین می‌توانند مقدار آب موجود در ماتریکس را محصور کنند و دسترسی آن را کاهش و بنابراین سختی را افزایش دهند.

Lue و همکاران (۱۹۹۱) در پژوهش خود اثرات افزودن فیبر جو دوسر و سبوس گندم را بر ساختار درونی بلغور ذرت اکسترودشده بررسی نمودند. مطابق نتایج؛ افزایش میزان فیبر جو دوسر سبب تولید فراورده‌های اکسترودشده با ساختار متراکم‌تر (به‌هم فشرده‌تر) و میانگین اندازهٔ سلول کوچک‌تر گردید.

جدول ۵ - نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ چندجمله‌ای درجهٔ دوم برای سختی

منبع	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۱۵۱۶۷/۱۶	۹	۱۶۸۵/۲۴	۹/۸۰	۰/۰۰۰۷
A (رطوبت)	۱۲۷۰۲/۱۰	۱	۱۲۷۰۲/۱۰	۷۳/۸۳	<۰/۰۰۰۱
C (نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج)	۱۲۴۷/۶۹	۱	۱۲۴۷/۶۹	۷/۲۵	۰/۰۲۲۶
A×C	۳۵۱/۱۲	۱	۳۵۱/۱۲	۲/۰۴	۰/۱۸۳۶
ضعف برازش	۱۴۶۸/۸۵	۵	۲۹۳/۷۷	۵/۸۴	۰/۰۳۷۷
خطا	۲۵۱/۶۴	۵	۵۰/۳۳	-	-



شکل ۳ - اثر متقابل رطوبت و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت چرخش مارپیچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر میزان سختی مکمل فیبری

تأثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر میزان فیبر رژیمی محلول مکمل فیبری

ازنظر آماری مدل پیشنهادی نرم‌افزار برای فاکتور میزان فیبر رژیمی محلول مکمل فیبری، مدل چندجمله‌ای درجهٔ دوم بود ($P<۰/۰۱$). نتایج حاصل از آنالیز واریانس (جدول ۶) نشان داد که عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل اثرات مستقل میزان رطوبت ($P<۰/۰۱$)، سرعت چرخش مارپیچ ($P<۰/۰۵$) و نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ($P<۰/۰۵$)، اثر متقابل رطوبت ـ سرعت چرخش مارپیچ ($P<۰/۰۱$) بودند. چنانچه مشاهده می‌شود آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. مدل برازش‌داده‌شده برای میزان فیبر رژیمی محلول مکمل فیبری به‌صورت رابطهٔ (۵) می‌باشد:

رابطهٔ (۵)

میزان فیبر رژیمی محلول = ۲/۶۲ A - ۰/۷۷ B + ۰/۷۱ C - ۱/۱۴ AB + ۱۰/۶۶

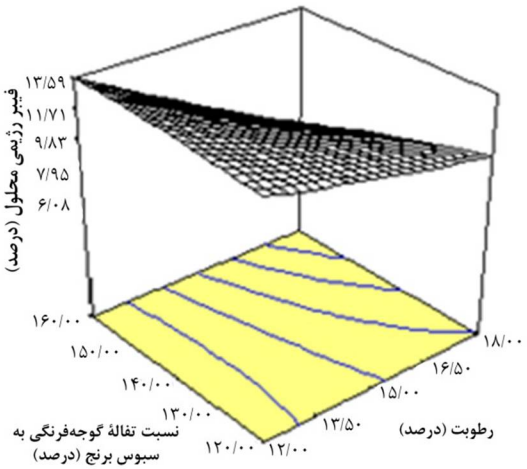
میزان فیبر رژیمی محلول مکمل فیبری در این پژوهش در محدودهٔ ۱۳/۹۰-۴/۹۰ درصد بود. شکل (۴)، اثر همزمان رطوبت ـ سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ثابت ۵۰ درصد تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بر

میزان فیبر رژیمی محلول مکمل فیبری را نشان می‌دهد. براین‌اساس، در بالاترین میزان سرعت چرخش مارپیچ (۱۶۰ دور بر دقیقه)، با افزایش رطوبت میزان فیبر رژیمی محلول کاهش یافت. در بالاترین میزان رطوبت، افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث افزایش میزان فیبر رژیمی محلول گردید. افزایش میزان فیبر رژیمی محلول درنتیجهٔ افزایش سرعت چرخش مارپیچ با نتایج سایر پژوهش‌ها به‌ترتیب برای فراورده‌های سبوس گندم، پسماند سویا و تفالهٔ پرتقال مطابقت داشت (Huang & Ma, 2016; Jing & Chi, 2013; Rashid *et al*., 2015). آنها گزارش کردند تنش برشی ایجادشده توسط سرعت‌های مارپیچ بالا باعث آسیب‌رساندن به ماکرومولکول‌های فیبر رژیمی نامحلول می‌شود که طی آن پیوندهای شیمیایی شکسته و ذرات کوچک‌تر که محلول هستند، ایجاد می‌شود. نتایج مطالعه‌های زیادی مشخص نمود که فرایند اکستروژن با اصلاح و تغییر ساختار دیوارهٔ سلولی فیبر رژیمی میوه‌ها و سبزی‌ها و تبدیل فیبر رژیمی نامحلول به فیبر رژیمی محلول سبب افزایش فیبر رژیمی محلول گردید (Huang & Ma, 2016; Galdeano *et al*., 2005).

Wang و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند کاهش فیبر رژیمی نامحلول و افزایش فیبر رژیمی محلول در فراورده‌های اکسترودشده می‌تواند درنتیجهٔ شکستن پیوندهای کووالانسی و غیرکووالانسی بین مولکول‌های پروتئین و کربوهیدرات با فیبر باشد که منجربه تشکیل قطعه‌های مولکولی کوچک‌تر و محلول‌تر می‌شود.

جدول ۶ - نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ چندجمله‌ای درجهٔ دوم برای میزان فیبر رژیمی محلول

منبع	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۹۰/۶۷	۹	۱۰/۰۷	۴۳/۱۲	<۰/۰۰۰۱
A (رطوبت)	۶۸/۶۴	۱	۶۸/۶۴	۲۹۳/۸۴	<۰/۰۰۰۱
B (سرعت مارپیچ)	۵/۹۳	۱	۵/۹۳	۲۵/۳۸	۰/۰۰۰۵
C (نسبت تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج)	۵/۰۴	۱	۵/۰۴	۲۱/۵۸	۰/۰۰۰۹
A×B	۱۰/۳۵	۱	۱۰/۳۵	۴۴/۳۱	<۰/۰۰۰۱
ضعف برازش	۱/۹۴	۵	۰/۳۹	۴/۹۴	۰/۰۵۲۲
خطا	۰/۳۹	۵	۰/۰۷۹	-	-



شکل ۴- اثر متقابل رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ثابت (۵۰:۵۰ درصد) تفالهٔ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج برمیزان فیبر رژیمی محلول مکمل فیبری

بهینه‌یابی فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن جهت تولید مکمل فیبری فراسودمند

در این پژوهش، هدف از بهینه‌سازی بهبود ویژگی‌های عملکردی، فیزیکی و تغذیه‌ای مکمل فیبری فراسودمند بود. تنظیم‌های اعمال‌شده برای فرایند بهینه‌سازی شامل متغیرهای فرایند و فرمولاسیون (سرعت چرخش مارپیچ،

رطوبت خوراک و نسبت تفالۀ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج) در محدودۀ آزمایش در نظر گرفته شد. ویژگی‌های فیزیکی شامل میزان سختی کمینه تنظیم گردید، ویژگی‌های عملگری شامل شاخص جذب آب، تورم و همچنین ویژگی تغذیه‌ای میزان فیبر رژیمی محلول بیشینه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از بهینه‌یابی فرمولاسیون مکمل فیبری، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان رطوبت خوراک ۱۴/۰۶ درصد، نسبت تفالۀ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ۲۶/۴۳ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۲۰ دور بر دقیقه، شاخص جذب آب ۴/۶۴ گرم بر گرم، میزان تورم ۴/۶۱ میلی‌لیتر بر گرم، میزان سختی ۸۹/۰۸ نیوتن و فیبر رژیمی محلول ۱۱/۰۹ درصد تعیین گردید.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی متغیرهای فرایند اکستروژن و فرمولاسیون شامل سرعت چرخش مارپیچ (۱۶۰-۱۲۰ دور بر دقیقه)، رطوبت (۱۸-۱۲ درصد) و نسبت تفالۀ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج (۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ درصد وزنی:وزنی) بر ویژگی‌های عملکردی و فیزیکوشیمیایی مکمل فیبری فراسودمند انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش همزمان متغیرهای سرعت چرخش مارپیچ و نسبت تفالۀ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، شاخص جذب آب فراورده افزایش یافت. افزایش همزمان رطوبت و نسبت تفالۀ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج میزان تورم را افزایش داد. سختی بافت مکمل فیبری با افزایش سطوح افزودن تفالۀ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج افزایش یافت و افزایش سرعت چرخش مارپیچ سبب افزایش میزان فیبر رژیمی محلول گردید. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، شرایط بهینۀ فراوری مکمل فیبری در شرایط تحت بررسی با اهداف افزایش شاخص جذب آب، تورم، میزان فیبر رژیمی محلول و کاهش سختی شامل شاخص جذب آب ۴/۶۴ گرم بر گرم، میزان تورم ۴/۶۱ میلی‌لیتر بر گرم، میزان سختی ۸۹/۰۸ نیوتن و فیبر رژیمی محلول ۱۱/۰۹ درصد، میزان رطوبت خوراک ۱۴/۰۶درصد، نسبت تفالۀ گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ۲۶/۴۳ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۲۰دور بر دقیقه، تعیین گردید. به‌طورکلی یافته‌های پژوهش بیانگر قابلیت مناسب فرایند اکستروژن، به‌عنوان یک فناوری مؤثر در جهت اصلاح ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی فیبر رژیمی در تولید مکمل فیبری فراسودمند از پسماندهای صنایع تبدیلی گوجه‌فرنگی و برنج (تفالۀ گوجه‌فرنگی و سبوس برنج) بود. فراوردۀ تولیدی ضمن داشتن ویژگی عملگری مطلوب (جذب آب و تورم بالا)، غنی از فیبر رژیمی محلول می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان یک جزء فرمولاسیون در فرمول فراورده‌های رژیمی نظیر فراورده‌های پخت، لبنی و گوشتی به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تکنولوژیکی فراوردۀ نهایی استفاده شود.

منابع

1- AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of cereal Chemists. 10th ed. St.Paul, Minnesota: American Association of cereal Chemist.

2- Altan, A., Mccarthy, K.L., & Maskan, M. 2009. Effect of Extrusion cooking on Functional properties and in Vitro starch Digestibility of Barly-Based- Extrudates from fruit and vegetable By-Products. Journal of Food Science, 74:86-77.

3- AOAC. Official methods of analyses. 2000. Association of Official Analycal Chemists, Washington, DC.

4- Bach Knudsen, K.E. 2001. The nutritional significance of dietary fiber analysis. Animal Feed Science and Technology, 90(1-2):3-20.

5- Chandi, G.K., & Sogi, D.S. 2007. Functional properties of rice bran protein concentrates. Journal of Food Engineering, 79(2):592-597.

6- Chang, Y.K., Martinez-Bustos, F., & Lara, H. 1998. Effect of some extrusion variable on rheological properties and physicochemical changes of cornmeal extruded by twin screw extruder. Brazilian Journal of chemical Engineering, 15(4):370-381.

7- Charunuch, C., Limsangouan, N., Prasert, W., & Wongkrajang, K. 2014. Optimization of extrusion conditions for ready- to- eat breakfast cereal enhanced with defatted rice bran. International Food Research Journal, 21(2):713-722.

8- Daou, C., & Zhang, H. 2011. Physico- chemical properties and Antioxidant Activities of Dietary fiber Derived from Deffatted Rice Bran. Advance Journal of Food Science and Technology, 3(5):339-347.

9- Davies, J.N., & Hobson, G.E. 1981. The constituents of tomato fruit: the influence of environment, nutrition, and genotype. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 15:205-208.

10- Dhingra, D., Michael, M., & Rajput, H. 2012. Dietary fibre in foods: a review. Food science and Technology, 49(3):255-266.

11- Dhungana, P., Chauhan, A., & Sing, S. 2014. Evaluation of extrudate from sweetpotato flour and tomato pomace blend by extrusion processing. African Journal of Food Science, 8(5):246-277.

12- FDA. 2005. 21 CFRPart 101. Food labeling: Health clams; solouble dietary fiber from certain foods and coronary heart. Federal Register, 70:246.

13- Galdeano, M.C., & Grossmann, M.V.E. 2005. Effect of treatman with alkaline hydrogen peroxide associated with extrusion color and hydration properties of oat hulls. Brazilian Archives of Biology Technology, 48(1):63-72.

14- Gould, J.M. 1989.Alkaline peroxide Treatment of Agricultural By products. USP Patent, 4:806-475.

15- Grigelmo-Miguel, M., Gorinstein, S., & Martin-Belloso, O. 1999. Characterization of peach dietary fiber concentrate as a food ingredient. Food Chemistry, 65(2):175-181.

16- Hematian Sourki, A., Mahdavian Mehr, H., Pourfarzad, A., & Sedaghat, N. 2013. Optimization of alkaline extraction for dietary fiber of coffee silver skin and its effect on the quality and shelf life of Iranian Barbari bread. Journal of Nutrition Sciences and Food Technology, 1(30):11-22.

17- Huang, Y., & Ma, Y. 2016. The of effect extrusion processing on the physicochemical properties of extruded orange pomace. Food Chemistry, 192:363-369.

18- Jing, Y., & Chi, Y. 2013. Effect of twin-screw extrusion in soluble dietary fibre and physicochemical properties of soybean residue. Food Chemistry, 138:889-884.

19- Kim, C.J., Byun, S.M., Cheigh, H.S., & Kwon, T.W. 1987. Optimization of Extrusion Rice bran stabilization process. Journal of Food Science, 52(5):1355-1357.

20- Kosseva, M.R. 2013. Food Industry Wastes. 1st ed. Academic Press, Elsevier, San Diego, USA.

21- Kumar, N., Sarkar, B.C., & Sharma, H.K. 2010. Development and Characterization of Extruded product using Carrot pomace and Rice Flour. International Journal of Food Engineering, 6(3):1-24.

22- Larrea, M.A., Chang, Y.K., & Martinez-Bustos, F. 2005. Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. LWT-Food Science and Technology, 38(3):213-220.

23- Lopez, G., Ros, G., Rincon, F., Perigo, M.J., Martinez, M.C., & Ortuno, J. 1996. Relationship between physical and Hydration properties of Soluble and Insoluble fiber of Artichoke. Journal of Agriculture and Food chemistry, 44(9):2773-2778.

24- Lue, S., Hsieh, F., & Huff, H.E. 1991. Extrusion cooking of corn meal and suger beet fiber:effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. Cereal Chemistry, 68(3):227-234.

25- Lyly, M., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T., Autio, k., Poutanen, K., & Lahteenmaki, L. 2004. The sensory characteristics and rheoligical properties of soups containing oat and barley ß- glucan before and after freezing. LWT- Food Science and Technology, 37(7):749-761.

26-Manilal, P.P. 2005. Super critical fluid extraction of rice bran with adsorption on rice hull ash. P. 1-170. Thesis of Master of Science of Louisiana State University and Agricultural and Mechanical college.

27-Mansour, E.M., & Khalil, A.H. 1997. Characteristics of low- fat beefburger as influenced by various types of wheat fibers. Food Research International, 30(3-4):199-205.

28-Martinez-Bustos, F., Viveros-Contreras, R., Galicia-Garcia, T., Nabeshima, E.H., & Verdalet-Guzman, I. 2010. Some Functional characteristics of extruded blends of fiber from sugarcane bagass, Whey protein concentrate, and corn starch. Food Science and Technology, 31(4):870-878.

29-Mendez-Garcia, S., Martinez-Flores, H.E., & Marales-Sanchez, E. 2011. Effect of extrusion parameters on some properties of dietary fiber from lemon (*citrus aurantifolia swingle*) residues. African Journal of Biotechnology, 10(73):16589-16593.

30-Moraru, C.I., & Kokini, J.L. 2003. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2:147-165.

31-Moscicki, L. 2011. Extrusion-cooking techniques. application, theory and sustainability weiheim germany: Wiley- VCH Verlage GmbH.

32-Ning, L, Villota, R., & Artz, W.E. 1991. Modification of corn Fiber through chemical treatments in combination with twin- screw extrysion. Creal Chemistery, 68(6):632-636.

33-O'Shea, N., Arendt, E., & Gallagher, E. 2013. Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. Food and Bioprocess Technology, 7(6):1767-1782.

34-Potter, R., Stojceska, V., & Plunkett, A. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets. LWT-Food Science and Technology, 51(2):537-544.

35-Prosky, L., Asp, N.G., Scheweizer, T.F., Devaries, J.W., & Furda, I. 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fibre in foods and food products: interlaboratory study. Journal of Official Analytical Chemists, 71:1017-1023.

36-Ralet, M.C., Thibault, J.F., & Della Valle, G. 1991. Solubilization of Suger- beet pulp cell wall polysaccharids by extrusion- cooking. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology, 24(2):107-112.

37-Rashid, S. 2015. Effect of extrusion cooking on the dietary fibre content and water solubility Index of wheat bran extrudates. Food Science and Technology, 50(7):1533-1537.

38-Regand, A., & Goff, H.D. 2003. Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. Food Hydrocolloids, 17(1):95-102.

39-Robertson, J.A., de Moredon, F.D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., &Thibault, J.F. 2000. Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: a European collaborative study. LWT-Food Science and Technology, 33(2):72-79.

40-Rouilly, A., Jord, J., & Rigal, L. 2006. Thermo-mechanical processing of sugar beet pulp. Carbohydrate Polymers, 66(1):81-87.

41-Selan, M.M., & Brazaca, S. 2014. Characterisation and potential application of pinapple pomace in an extruded product for fiber enhancement. Food Chemistry, 163:23-30.

42-Selani, M.M., Brazaca, S.G.C., Dias, C.T.D., Ratnayake, W.S., Flors, R.A., & Bianchini, A. 2014. Characterisation and potential application of pineapple pomace in a extruded product for fibre enhancement. Food Chemistry, 163:23-30.

43-Soukoulis, C., Lebesi, D., & Tzia, C. 2009. Enrichment of rice cream with dietary fibre: Effect on rheological properties, ice crystallization and glass transition phenomena. Food Chemistry, 115:665-671.

44-Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanoglu, S. 2010. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fiber level in gluten- free products. Journal of Food Chemistry, 121(1): 156- 164.

45- Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M., & Bourgeois, C.M. 1997. Dietary fiberes: nutritional and technological interest. Trends Food Science and Technology, 8(2):41-48.

46- Thuwapanichayanan. R, Prachayawarakorn. S., & Soponronnarit, S. 2008. Drying characteristics and quality of banana foam mat, Journal of Food Engineering, 86:573-583.

47- Wang, W.M., Klopfenstein, C.F, & Ponte, G. 1993. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. Cereal Chemistry, 70(6):707-711.

48- Wong, K.H., & Cheung, P.C.K. 2004. Dietary fibers from mushroom sclerotia: preparation and physicochemical and functional properties. Journal of Agriculture and Food chemistry, 53(24):9395-9400.

49- Yagci, S., & Gogus, F. 2008. Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food- by- products. Journalof Food Engineering, 86(1):122-132.

50- Yangilar, F. 2013. The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre*:* a review. Journal of Food and Nutrition Research, 1(3):13-23.

51- Zhang, M., Bai, X., & Zhang, Z. 2011. Extrusion process improve the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. Journal of Cereal Science, 54(1):103-98.

52- Zhang, M., Liang, Y., Pei, Y., Gao, W., & Zhang, Z. 2009. Effect of process on physicochemical properties of oat bran soluble dietary fiber. Journal of Food Science, 74(8):28-36.

53- Zhang, Y., Feng, Y., Sun, L., & Wang, D.W. 2010. Optimization of extrusion technology of rice bran by response surface methodology and measurement of its physicalproperties. Food Science, 20.

Production and Optimization of Functional Fiber Supplement Based on Food By-products Using Extrusion Technology

Sara Niasti[1], Mohammad Hossein Haddad Khodaparast[2*], Elnaz Milani[3], Arash Koocheki[4]

1- PhD Student Food Science & Technology, Department of Food Science & Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2,4- Professor, Department of Food Science & Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
* Corresponding author (khodaparast@um.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran

Abstract

In this study, the use of extrusion technology in the production of functional fiber supplement from by-products of tomato and rice processing industries (tomato pomace and rice bran) was investigated. A rotatable central composite design was used to investigate the processing and formulation variables including screw speed (120-160 rpm), moisture content (12-18%) and tomato pomace to rice bran ratio (25-75%). The functional and physicochemical properties of texturized products including water absorption index (WAI), swelling (SW), hardness, and soluble dietary fiber content were evaluated. The results showed that WAI of product increased with the increasing of screw speed and tomato pomace to rice bran ratio. Increasing tomato pomace to rice bran ratio and moisture content caused an increase in swelling. The hardness of fiber supplement also increased with increasing tomato pomace to rice bran ratio. Increasing screw speed increased the content of soluble dietary fiber. According to the results, the optimized processing conditions for the production of fiber supplement with desirable properties including WAI (4.64 g/g), SW (4.61 ml/g), hardness (89.08 N) and soluble dietary fiber (11.09%) were as following, moisture content of 14.06%, tomato pomace to rice bran ratio of 26.43% and screw speed of 120 rpm.

Keywords: By-Product, Extrusion, Fiber Supplement, Rice Bran, Tomato Pomace

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۱۶۶-۱۴۹

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

اثر خواص ضداکسیداسیونی عصارهٔ جلبک قهوه‌ای روی ماندگاری و خواص حسی ناگت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی نگهداری در فریزر با دمای ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد

امید اسدی فارسانی[۱]، معظمه کردجزی[۲*]، بهاره شعبانپور[۳]، سیدمهدی اجاق[۴]، انیسه جمشیدی[۱]

۱- دانشجوی دکتری، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- استادیار، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
* نویسندهٔ مسئول (kordjazi.m@gmail.com)
۳- استاد، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دانشیار، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۶

واژه‌های کلیدی
جلبک *Iyengaria stellata*
خاصیت ضداکسیداسیونی
فیلهٔ ناگت
قزل‌آلای رنگین‌کمان

چکیده

باتوجه‌به میزان بالای اسیدهای چرب غیراشباع موجود در عضلهٔ ماهی و افزایش تقاضای مواد غذایی آمادهٔ مصرف مثل ناگت، اثر عصارهٔ جلبک قهوه‌ای (*Iyengaria stellate*) بر عمر ماندگاری و خواص حسی فیلهٔ ناگت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) طی نگهداری در فریزر (۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد) بررسی شد. تیمارهای موردبررسی شامل: شاهد (فیلهٔ ناگت بدون غوطه‌وری در محلول عصارهٔ جلبک) و سایر موارد (فیلهٔ ناگت با غوطه‌وری در محلول ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک) بود. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی ناگت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پس از اعمال تیمار و نیز طی زمان صفر، ۱، ۲ و ۳ ماه نگهداری در دمای ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد صورت پذیرفت. طبق نتایج طی دورهٔ نگهداری در تمامی تیمارها میزان بازده و رطوبت کاهش یافت. اما در تمام تیمارها طی دورهٔ نگهداری میزان چربی و چروکیدگی کاهش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) و میزان پراکسید (PV)، اسید چرب آزاد (FFA) و تیوباربیتوریک اسید (TBA) افزایش معنی‌داری را نشان دادند ($P<۰/۰۵$). در پایان دورهٔ نگهداری، بیشترین میزان بازده، پیوستگی بافت، شاخص روشنایی (L)، شاخص زردی (b)، کمترین میزان چروکیدگی، قابلیت ارتجاعی، خاصیت چسبندگی بافت و چربی متعلق به تیمار ۱ درصد بود. ازطرفی بیشترین میزان سختی، خاصیت چسبندگی، نیروی چسبندگی، قابلیت جویدن بافت، شاخص قرمزی (a) و کمترین میزان رطوبت، FFA، PV، TBA و نیروی چسبندگی تحت تیمار ۳ درصد حاصل شد. بنابراین، کاربرد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای به میزان ۳ درصد در کاهش نرخ فساد شیمیایی و بهبود وضعیت حسی فیلهٔ ناگت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی نگهداری در دمای ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد بهترین عملکرد را نشان داده است.

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت و صنعتی‌شدن شهرها، تمایل به مصرف محصولات آمادهٔ مصرف در حال رشد است. در میان محصولات گوشتی آمادهٔ مصرف،

محصولات تولیدشده از گوشت ماهی نیز باتوجه‌به ارزش تغذیه‌ای آن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. از انواع این محصولات می‌توان به برگر ماهی، فینگر ماهی، ناگت ماهی و سوسیس ماهی اشاره نمود. ناگت ماهی محصولی است که ازطریق شکل‌دهی فیلهٔ ماهی بدون استخوان تولید می‌شود و به‌ترتیب تحت مراحل آردزنی اولیه، لعاب‌دهی و پوشاندن با آرد سوخاری قرار گرفته و به‌صورت مقدماتی در روغن سرخ‌شده و پس از انجماد، بسته‌بندی و نگهداری می‌گردد. بنابراین مصرف‌کننده برای استفاده از این محصول بعد از انجمادزدایی فقط مرحلهٔ پخت نهایی را اعمال می‌نماید که معمولاً شامل سرخ‌کردن در روغن می‌باشد.

جلبک‌ها حاوی مواد مختلف آلی و غیرآلی می‌باشند که می‌توان از آنها برای سلامت انسان بهره برد (Kuda *et al*., 2002). این گیاهان دریایی منبع غنی از ترکیبات زیست‌فعال با پتانسیل دارویی و پزشکی بشمار می‌روند که قادر به تولید انواع زیادی از ترکیبات با طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بیولوژیکی می‌باشند (Cox *et al*., 2010). تاکنون ترکیبات زیستی متعددی با ویژگی‌های متنوع همچون اثرات ضداکسیدانی، ضدمیکروبی، ضدویروسی، ضدقارچی و ضدسرطانی از جلبک‌های پرسلولی شناسایی و جداسازی شده است (پیمانی و همکاران، ۱۳۹۳)، همچنین جلبک‌های قهوه‌ای[1] فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری در مقایسه با جلبک‌های قرمز و سبز از خود نشان می‌دهند (Park *et al*., 2004; Lim *et al*., 2002). اگرچه مطالعه‌های گسترده‌ای درمورد طبقه‌بندی و پراکندگی ماکروجلبک‌ها در دریاهای ایران انجام شده است، اما اطلاعات درمورد ترکیب شیمیایی و ارزش غذایی از ماکروجلبک‌های دریایی موجود در ایران، محدود می‌باشد. باتوجه‌به فلور نسبتاً غنی آنها در سواحل جنوبی ایران و نیز پتانسیل بالای جلبک‌های قهوه‌ای در توسعهٔ تولیدات غذایی و همچنین طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بیولوژیکی و افزایش نسبی و روزافزون تحقیق‌هایی دراین‌زمینه، ضرورت انجام این پژوهش را نشان می دهد.

کاربرد جلبک‌ها در انواع مواد غذایی نیز موردبررسی قرار گرفته‌اند. در کشورهای غربی انواع فراورده شامل نان، نوشیدنی، ادویه‌ها، سوشی، اسنک، پیتزا، پاستا و غیره از انواع ماکروجلبک‌های دریایی مانند *Ascophyllum nodosum*، *Fucas vesiculosus* و *Pelvetia canaliculata* تهیه شده‌اند، که استفاده از این ماکروجلبک‌ها سبب بهبود طعم، ارزش غذایی و افزایش زمان نگهداری می‌شود (Bouga & Combet, 2015).

در این تحقیق برای تولید ناگت از ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان[2] استفاده شد. مصرف این ماهی بیشتر به‌صورت تازه و منجمد می‌باشد. بنابراین باتوجه‌به اهمیت اسیدهای چرب غیراشباع و پتانسیل جلبک‌ها در افزایش سلامت غذایی، اثر آنتی‌اکسیدانی عصارهٔ جلبک قهوه‌ای بر مدت زمان ماندگاری و کیفیت حسی فیلهٔ ناگت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بررسی گردید.

مواد و روش

عصاره‌گیری

جلبک مورداستفاده در این تحقیق از سواحل کانی در جزیرهٔ قشم جمع‌آوری شد. پس از جمع‌آوری جلبک‌های دریایی، بلافاصله با آب دریا و سپس با آب شیرین شست‌وشو داده‌شده و گِل و لای و سایر مواد چسبیده به آن زدوده گردید. جلبک‌های جمع‌آوری‌شده به آزمایشگاه فرآوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل و تا انجام آزمایش‌های لازم در دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. در مرحلهٔ بعد، جلبک‌های خشک‌شده در آون (مدل D-63450، Heraeus، ساخت آلمان) با دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۵ روز با استفاده از آسیاب (Binder، ساخت آمریکا) پودر شده، سپس عصاره‌گیری در ۳ مرحله انجام شد. مرحلهٔ اول و دوم عصاره‌گیری با استفاده از آب‌مقطر و مرحلهٔ سوم با اتانول صورت گرفت. به‌طور خلاصه، ۵۰ گرم پودر

[1] *Iyengaria stellate*

[2] *Oncorhynchus mykiss*

جلبکی با ۱ لیتر آب‌مقطر دیونیزه مخلوط گردید (به نسبت ۱ به ۲۰ وزنی/حجمی) و در دمای اتاق با دور ۲۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شد. سپس مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۵۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد سانتریفیوژ (Binder، ساخت آمریکا) و با کاغذ صافی واتمن شمارهٔ ۴ فیلتر گردید. کنسانتره و عصاره هر دو به‌روش انجمادی خشک‌شده (TTS2، ساخت آمریکا)، و سپس وزن شدند. به کنسانترهٔ به‌دست‌آمده از مرحلهٔ اول، مجدد به نسبت ۱ به ۲۰ آب‌مقطر اضافه و روند بالا دوباره تکرار شد. به‌این‌ترتیب کنسانتره و عصارهٔ دوم به‌دست آمد. کنسانتره و عصارهٔ به‌دست‌آمده از مرحلهٔ دوم نیز فریزدرایرشده و وزن گردیدند. به کنسانترهٔ به‌دست‌آمده از مرحلهٔ دوم به نسبت ۱ به ۲۰ اتانول ۹۶ درصد به‌دلیل حلالیت بالا (جهت استخراج باقی‌ماندهٔ عناصر جلبک) اضافه و روند بالا تکرار شد تا تمام عصاره‌های باقی‌مانده استخراج شود. اتانول اضافه‌شده دراین‌مرحله با استفاده از روتاری (IKA® RV 05 Basic، ساخت آلمان) خارج، سپس عصارهٔ حاصل درون خشک‌کن انجمادی قرار گرفت. تمام عصاره‌های به‌دست‌آمده از ۳ مرحله با هم مخلوط گردید و در فریزر با دمای ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد (هیمالیا F305، ساخت ایران)، تا زمان تهیهٔ محلول برای غوطه‌وری فیله‌ها نگهداری شدند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

تولید ناگت

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای تولید ناگت از ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به وزن ۴۰۰ تا ۵۰۰ گرم استفاده شد. ۲۵ کیلوگرم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از بازار ماهی‌فروشان شهر گرگان خریداری شده، سپس ماهی‌ها درون یخ قرارگرفته و به آزمایشگاه فرآوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. در آزمایشگاه ابتدا ماهی‌ها با استفاده از آب سرد کاملاً شسته و تخلیهٔ شکمی شده، سپس سر، دم و باله‌های آن جدا و ماهی از ناحیهٔ ستون مهره‌ها با یک برش طولی به ۲ قسمت تقسیم شد (هر ماهی ۲ فیله) و سپس پوست‌کنی و استخوان‌گیری از فیله‌ها انجام شد. گوشت ماهی‌ها به قطعه‌های مستطیلی در ابعاد ۲×۳×۵ سانتی‌متر و ۳±۲۷ گرمی قطعه‌قطعه شدند و بعد از بسته‌بندی در بسته‌های زیپ‌کیپ در فریزر ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد منجمد گردیدند. در مرحلهٔ بعد محلول ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبکی در آب‌مقطر همراه با دستگاه هم‌زن (مدل TTS2، ساخت آمریکا) به‌طور مداوم هم‌زده و با گرمای ملایم (۶۰-۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد) تهیه شدند (Luo *et al.*, 2009). همچنین برای یکسان‌بودن شرایط برای تمام فیله‌ها محلول صفر درصد (حاوی آب‌مقطر و فاقد عصارهٔ خشک جلبک) تهیه گردید. فیله‌ها به مدت ۱ دقیقه در محلول‌های صفر، ۱، ۲ و ۳ درصد تهیه‌شده به نسبت ۱ به ۲ (فیله-محلول عصاره) غوطه‌ور شدند، سپس فیله‌ها را خارج کرده و به مدت ۳۰ ثانیه اجازه داده شد تا در دمای اتاق آب‌چک انجام شود (Yu *et al.*, 2008; Maftoonazad *et al.*, 2009). سپس فیله‌ها با درصدهای متفاوت درون یخچال قرارگرفته تا برای مرحلهٔ لعاب‌دهی آماده شوند.

ناگت ماهی لعاب‌دهی‌شده و سوخاری‌شده

طبق فرمولاسیون Chen و Haung (۲۰۰۸) (آردگندم ۶۵ درصد، نشاسته ۳۰ درصد، نمک ۳ درصد، بکینگ‌پودر ۲ درصد) لعاب تهیه شد و طی آن هر لعاب با آب ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد به نسبت ۱ مواد خشک و ۱/۵ آب، به‌خوبی مخلوط گردید.

قطعه‌های تکه‌شدهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (۳ تکرار برای هر تیمار) در دمای اتاق آردزنی اولیه شده، در لعاب غوطه‌ور گردیده و پس از چکیدن لعاب اضافی پس از ۱ دقیقه، توسط آردسوخاری پوشانده شدند. پس از کامل‌شدن روکش، ناگت‌ها با استفاده از روغن گیاهی آفتاب‌گردان در سرخ‌کن به مدت ۳۰ ثانیه تحت دمای ۱۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌صورت مقدماتی به روش سرخ‌کردن عمیق سرخ شدند و پس از خنک‌شدن در دمای محیط، تکرارهای هر تیمار جداگانه درون بسته‌های زیپ‌کیپ بسته‌بندی‌شده و در فریزر با دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد منجمد گردیدند.

پس از گذشت ۳ روز از انجماد کامل ناگت‌ها، آزمایش‌های مربوطه روی ناگت‌های تولیدی آغاز شد (Albert *et al*., 2009). جهت انجام آنالیزها در هر دوره، ناگت‌ها پس از خروج از فریزر، به ۲ گروه تقسیم شدند. گروه اول پس از انجمادزدایی در هوای محیط، مورد آنالیز قرار گرفتند (ناگت‌های سرخ‌شدهٔ مقدماتی) و گروه دوم پس از انجمادزدایی در هوای محیط و سرخ‌کردن مجدد مورد آنالیز قرار گرفتند (ناگت‌های سرخ‌شدهٔ نهایی). به‌منظور سرخ‌کردن مجدد ناگت‌ها، پس از انجمادزدایی، در سرخ‌کن به مدت ۲/۵ دقیقه تحت دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به روش سرخ‌کردن عمیق سرخ شدند (اجاق و همکاران، ۱۳۹۲؛ Albert *et al*., 2009).

بازده محصول

ناگت هر تیمار قبل و بعد از سرخ‌کردن نهایی توزین شد. مقدار بازده محصول طبق رابطهٔ (۱) به‌صورت درصد محاسبه گردید (Das *et al*., 2008).

رابطهٔ (۱)

$$\text{بازده محصول (درصد)} = \text{وزن ناگت سرخ شده نهایی} / \text{وزن ناگت سرخ شده مقدماتی} \times ۱۰۰$$

چروکیدگی

قطر و ضخامت ناگت هر تیمار قبل و بعد از سرخ‌کردن نهایی اندازه‌گیری شد و به کمک رابطهٔ (۲) مقدار چروکیدگی ناگت‌ها محاسبه گردید (Modi *et al*., 2007).

رابطهٔ (۲)

$$\text{درصد چرکیدگی} = [(B-A)+(D+C)]/(A+C) \times ۱۰۰$$

در رابطهٔ (۲)، B: ضخامت ناگت سرخ‌شدهٔ مقدماتی، A: ضخامت ناگت سرخ‌شدهٔ نهایی، D: قطر ناگت سرخ‌شدهٔ مقدماتی و C: قطر ناگت سرخ‌شدهٔ نهایی می‌باشد.

آزمایش‌های شیمیایی

مقدار فساد هیدرولیتیک با شاخص اسیدچرب آزاد (FFA[1]) و برحسب درصد اسیداولئیک بیان شد. میزان پراکسید (PV[2]) برحسب میلی‌اکی‌والان‌گرم اکسیژن در ۱۰۰۰ گرم ماده سنجیده شد (Igan *et al*., 1979). مقدار تیوباربیتوریک اسید (TBA[3]) به روش رنگ‌سنجی (Igan *et al*., 1979) اندازه‌گیری و به‌صورت میلی‌گرم مالون‌آلدهید در کیلوگرم بافت ماهی بیان شد. مقادیر رطوبت و چربی کل با روش پروانه (۱۳۷۷) نیز تعیین و به‌صورت درصد بیان گردید.

اندازه‌گیری بافت

بافت ناگت‌ها پس از گذشت ۳۰ دقیقه از اتمام فرایند سرخ‌کردن با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (LFRA 4500، Broolfield، ساخت آمریکا) اندازه‌گیری گردید. یک پروپ دایره‌ای‌شکل با قطر ۵۰/۸ میلی‌متر به دستگاه بافت‌سنج متصل شد و دستگاه جهت ۵۰ درصد نفوذ پروب به درون ناگت‌ها با سرعت ۱ میلی‌لیتر بر ثانیه تنظیم گردید. میزان تردی روکش نیز پس از جداسازی از ناگت ماهی اندازه‌گیری شد (Sahin *et al*., 2005).

رنگ‌سنجی

با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Lovibond CAM-system، 500، ساخت انگلستان) ناگت‌های سرخ‌شدهٔ مقدماتی و سرخ‌شدهٔ نهایی مورد آنالیز قرار گرفتند. متغییر L* برای بیان شاخص روشنایی گوشت از صفر (بعد سیاهی) تا ۱۰۰ (بعد سفیدی)، شاخص a* برای بیان قرمزی ـ سبزی (+a* نشان‌دهندهٔ قرمزتر و -a* نشان‌دهندهٔ سبزتر) و شاخص b* برای بیان بعد زرد ـ آبی (+b* نشان‌دهندهٔ زردتر و -b* نشان‌دهندهٔ آبی‌تر) در نظر گرفته شد.

ارزیابی حسی

آنالیز حسی توسط ۹ نفر از افراد نیمه‌آموزش‌دیده انجام پذیرفت. به‌منظور ارزیابی شاخص‌های رنگ،

[1] Free Fatty Acid
[2] Proxide Value
[3] Thiobarbituric Acid

بافت، تردی، طعم، بو، ظاهر و پذیرش کلی ناگت‌های ماهی تولیدی از روش Das و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد. ناگت‌ها به مدت ۲/۵ دقیقه در سرخ‌کن تحت دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد در روغن آفتاب‌گردان سرخ شدند. ارزیابی نمونه‌ها با ارزیابی ۵ امتیازی انجام پذیرفت: امتیاز هریک از ویژگی‌ها به‌این‌صورت بود: بافت (۵، بافت خیلی نرم؛ ۱، بافت محکم و سفت)، رنگ (۵، بدون تغییر رنگ؛ ۱، کاملاً بی‌رنگ)، بو (۵، کاملاً مطبوع؛ ۱، بوی فساد)، طعم (۵، بسیار خوش طعم؛ ۱، بسیار بدطعم) و مقبولیت کلی (۵، کاملاً مقبول؛ ۱، کاملاً نامقبول) (Ojagh *et al.*, 2010; Fan *et al.*, 2009). ارزیابان به شاخص‌های حسی از ۱ تا ۵ امتیاز دادند. امتیاز ۳ برای فیلهٔ ناگت‌ها در ارزیابی حسی به‌عنوان حد مقبولیت جهت مصرف انسانی در نظر گرفته شد.

آنالیز آماری

تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۶ انجام شد. بعد از ۳ بار تکرار هر آزمون، از نتایج میانگین و انحراف معیار گرفته شد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون اسپیلت پلات در زمان و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال (α=۰/۰۵) و برای آنالیز داده‌های حسی از آزمون‌های ناپارامتری کروسکال والیس و من ویتنی یو[1] استفاده گردید.

نتایج

بازده

طبق جدول (۱)، میزان بازده در تیمارهای ۱ و ۲ درصد و در طی زمان نگهداری کاهش معنی‌داری را نشان نداد ($P>0/05$)، اما تیمارهای شاهد و ۳ درصد در طی زمان نگهداری کاهش معنی‌داری را نشان دادند ($P<0/05$). در ماه‌های صفر، دوم و سوم تیمار ۱ درصد با تیمارهای شاهد و ۳ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P<0/05$). در پایان دورهٔ نگهداری بالاترین میزان بازده را تیمار ۱ درصد نشان داد.

چروکیدگی

نتایج آنالیز آماری جدول (۱) حاکی از وجود اثرات معنی‌داری میان تیمارهای مختلف و همچنین زمان‌های متفاوت نگهداری می‌باشد. طبق نتایج مقدار چروکیدگی در طی دورهٔ نگهداری در تمام تیمارها افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P<0/05$). در ماه دوم و سوم تیمار ۱ درصد با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P<0/05$). در پایان دورهٔ نگهداری تیمار ۱ درصد کمترین مقدار چروکیدگی را نشان داد.

رطوبت

طبق جدول (۱) میزان رطوبت در تمامی تیمارها طی زمان نگهداری کاهش یافت که این کاهش فقط در تیمار شاهد معنی‌دار بود ($P<0/05$). همچنین در پایان دورهٔ نگهداری بیشترین میزان رطوبت را تیمار ۱ درصد نشان داد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت ($P<0/05$).

چربی

باتوجه‌به جدول (۱) این فاکتور در تمام تیمارها با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری ($P<0/05$) کاهش یافت. میان تیمارها در زمان‌های مختلف هم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0/05$). در کل، تیمار ۳ درصد و تیمار ۱ درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان چربی را در طول دورهٔ نگهداری نشان دادند.

اسید چرب آزاد

طبق نتایج جدول (۱) میزان اسیدهای چرب آزاد با افزایش زمان نگهداری در پایان دوره در تمام تیمارها افزایش معنی‌داری را نشان داد ($P<0/05$). در انتهای دورهٔ نگهداری تیمار ۳ درصد کمترین میزان اسیدچرب آزاد را نشان داد که با تیمار ۲ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت ($P>0/05$).

[1] Kruskal Wallis and MannWhitney U

جدول ۱- تغییرات میزان بازده، چروکیدگی، رطوبت، چربی و اسید چرب آزاد تیمارهای مختلف فیلهٔ ناگت طی ۳ ماه نگهداری به‌صورت منجمد

فاکتور	تیمار/زمان (ماه)	۰	۱	۲	۳
بازده (درصد)	شاهد	۹۰/۰۶±۰/۴۵^{Ab}	۸۸/۶۳±۱/۱۴^{Ac}	۸۹/۱۳±۰/۵۴^{Ab}	۸۷/۳۱±۱/۰۲^{Bb}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۹۱/۲۱±۰/۷۲^{Aa}	۹۰/۸۸±۰/۱۷^{Aa}	۹۱/۴۰±۰/۴۶^{Aa}	۸۹/۷۸±۰/۶۷^{Aa}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۹۰/۴۳±۰/۳۰^{Aab}	۸۹/۴۹±۰/۶۱^{Ab}	۹۰/۱۴±۰/۶۶^{Aab}	۸۹/۴۲±۱/۱۷^{Aa}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۸۵/۷۶±۰/۷۵^{ABc}	۸۴/۴۹±۰/۴۶^{BCd}	۸۶/۷۶±۱/۰۹^{Ac}	۸۳/۹۷±۰/۶۲^{Cc}
چروکیدگی (درصد)	شاهد	۲/۱۵±۰/۱۲^{Bb}	۲/۴۱±۰/۲۰^{Bb}	۳/۱۴±۰/۶۳^{Ac}	۳/۶۵±۰/۴۲^{Aab}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۲/۹۱±۰/۷۴^{Bab}	۳/۶۴±۰/۳۷^{Ba}	۴/۵۶±۱/۴۳^{Aa}	۲/۶۱±۰/۸۲^{Cd}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۲/۸۸±۰/۷۲^{Cab}	۳/۵۴±۰/۶۰^{ABa}	۴/۲۸±۰/۴۷^{Ab}	۳/۴۲±۰/۳۳^{Bc}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۲/۹۹±۰/۷۷^{Ca}	۳/۰۴±۰/۵۲^{Bab}	۴/۲۶±۰/۵۱^{Ab}	۳/۹۵±۰/۵۵^{ABa}
رطوبت (درصد)	شاهد	۵۹/۸۶±۰/۳۰^{Aa}	۵۸/۲۳±۰/۱۵^{Aa}	۵۷/۰۳±۰/۳۰^{Aa}	۵۶/۲۳±۱/۵۵^{Bb}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۵۸/۲۰±۴/۹۴^{Aa}	۵۴/۲۰±۰/۱۰^{ABa}	۵۲/۹۳±۰/۵۸^{Bb}	۵۷/۶۳±۰/۲۰^{ABa}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۵۹/۲۹±۰/۱۷^{Aa}	۵۴/۵۰±۵/۴۸^{ABa}	۵۳/۰۶±۰/۷۲^{Bb}	۵۶/۶۰±۰/۲۶^{ABb}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۵۷/۰۳±۰/۵۵^{Aa}	۵۵/۰۶±۱/۷۱^{ABa}	۵۴/۰۰±۱/۸۶^{Bb}	۵۶/۱۰±۰/۲۶^{ABb}
چربی (درصد)	شاهد	۱۳/۵۰±۰/۱۰^{Ab}	۱۲/۸۷±۰/۰۶^{ABab}	۱۲/۲۵±۰/۷۵^{BCb}	۱۱/۴۰±۰/۵۰^{Ca}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۱۳/۳۰±۰/۵۲^{Ab}	۱۲/۲۳±۰/۹۵^{Ab}	۱۱/۲۰±۰/۱۰^{Cc}	۷/۱۰±۱/۱۰^{Bb}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۱۴/۸۳±۰/۱۴^{Aa}	۱۲/۴۰±۰/۱۰^{Bb}	۱۱/۹۵±۰/۵۵^{Abc}	۷/۱۵±۰/۲۵^{Db}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۱۴/۵۰±۱/۲۰^{Aab}	۱۳/۷۰±۰/۳۰^{ABa}	۱۳/۳۰±۰/۱۰^{ABa}	۱۱/۸۵±۰/۵۵^{Ba}
اسید چرب آزاد (درصد اسیداولئیک)	شاهد	۰/۸۳±۰/۰۸^{Ca}	۰/۴۳±۰/۲۲^{Ca}	۱/۴۳±۰/۱۵^{Ba}	۱/۹۵±۰/۲۸^{Aa}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۰/۵۰±۰/۱۷^{Cb}	۰/۴۱±۰/۰۹^{Ca}	۱/۴۲±۰/۱۳^{Ba}	۱/۷۸±۰/۲۸^{Ab}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۰/۳۱±۰/۰۲^{Bc}	۰/۲۹±۰/۰۱^{Bab}	۱/۲۲±۱/۲۵^{Aab}	۱/۴۳±۰/۳۵^{Ac}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۰/۲۸±۰/۰۲^{Bc}	۰/۱۴±۰/۰۱^{Bb}	۱/۰۶±۰/۰۸^{Ab}	۱/۴۰±۰/۴۹^{Ac}

داده‌ها به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. (a-b) در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت تیمارها در هر زمان و (A-D) در هر ردیف نشان‌دهندهٔ تغییرات هر تیمار در طول زمان می‌باشند. شاهد فاقد عصارهٔ جلبک و سایر تیمارها به‌ترتیب حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای می‌باشند.

شاخص PV و TBA

نتایج آنالیز آماری جدول (۲) حاکی از وجود اثرات معنی‌داری میان تیمارهای مختلف و همچنین زمان‌های متفاوت نگهداری می‌باشد. طبق نتایج به‌دست‌آمده با گذشت زمان و در پایان دورهٔ نگهداری مقدار پراکسید در تمام تیمارها افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P<۰/۰۵$). در ماه سوم نگهداری اختلاف میان تمام تیمارها معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). در انتهای دوره تیمار ۳ درصد کمترین میزان پراکسید را نشان داد.

نتایج نشان می‌دهد که مقادیر تیوباربیوتوریک اسید در تمامی تیمارها با افزایش مدت زمان نگهداری یک روند صعودی معنی‌داری را طی کرده است ($P<۰/۰۵$). بیشترین مقدار تیوباربیوتوریک اسید در طول نگهداری مربوط به تیمار شاهد و کمترین میزان مربوط به تیمار ۳ درصد می‌باشد.

جدول ۲- تغییرات میزان اندیس پراکسید (میلی‌اکی‌والان اکسیژن) و TBA (مالون دی‌آلدهید) تیمارهای مختلف فیلهٔ ناگت طی ۳ ماه نگهداری به‌صورت منجمد

فاکتور	تیمار/ زمان (ماه)	۰	۱	۲	۳
PV (میلی‌اکی‌والان اکسیژن)	شاهد	۱۳/۴۱±۱/۰۷^{Ba}	۱۲/۱۴±۰/۳۸^{Ba}	۱۲/۶۹±۰/۹۳^{Ba}	۲۰/۶۱±۱/۳۴^{Aa}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۱۲/۰۵±۱/۰۱^{Ba}	۱۱/۶۲±۰/۴۴^{Ba}	۱۲/۱۶±۱/۶۴^{Bab}	۱۵/۹۶±۰/۶۳^{Ab}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۱۰/۴۲±۰/۵۸^{Cb}	۹/۶۱±۰/۳۸^{Cb}	۱۲/۱۳±۰/۱۹^{Bab}	۱۳/۶۴±۰/۲۷^{Ac}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۱۰/۳۶±۰/۵۲^{Bb}	۹/۵۶±۰/۱۳^{Bb}	۱۰/۳۹±۰/۴۵^{Bb}	۱۱/۵۷±۰/۸۹^{Ad}
TBA (مالون دی‌آلدهید)	شاهد	۰/۷۶±۰/۵۴^{Da}	۱/۷۰±۰/۲۳^{Ca}	۳/۲۷±۰/۴۱^{Ba}	۴/۷۸±۰/۳۶^{Aa}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۰/۶۲±۰/۰۸^{Da}	۱/۶۳±۰/۰۵^{Ca}	۲/۵۳±۰/۱۳^{Bb}	۴/۳۴±۰/۰۱^{Ab}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۰/۳۹±۰/۰۱^{Ca}	۰/۸۴±۰/۲۱^{Cb}	۲/۰۷±۰/۰۳^{Bc}	۳/۴۶±۰/۰۵^{Ac}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۰/۳۴±۰/۰۱^{Ca}	۰/۷۴±۰/۲۴^{Cb}	۱/۶۰±۰/۲۰^{Bd}	۲/۶۷±۰/۰۳^{Ad}

داده‌ها به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. (a-b) در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت تیمارها در هر زمان و (A-D) در هر ردیف نشان‌دهندهٔ تغییرات هر تیمار در طول زمان می‌باشند. شاهد فاقد عصارهٔ جلبک و سایر تیمارها به‌ترتیب حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای می‌باشند.

شاخص روشنایی (L)

نتایج آنالیز آماری (جدول ۳) حاکی از وجود اثرات معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) میان تیمارهای مختلف و همچنین زمان‌های متفاوت نگهداری می‌باشد. در پایان دوره تیمار ۱ درصد بالاترین میزان روشنایی را نشان داد که با تیمار شاهد و ۳ درصد اختلاف معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). همچنین شاخص روشنایی در تمامی تیمارها در طول زمان نگهداری کاهش یافت ($P<۰/۰۵$).

جدول ۳- تغییرات روشنایی تیمارهای مختلف فیلهٔ ناگت‌های سرخ‌شدهٔ مقدماتی طی ۳ ماه نگهداری به‌صورت منجمد

تیمار/ زمان (ماه)	۰	۱	۲	۳
شاهد	۶۱/۷۰±۰/۹۵^{Ac}	۶۰/۱۳±۰/۶۱^{Aa}	۵۸/۵۳±۰/۹۲^{Bab}	۵۲/۷۰±۰/۸۶^{Cb}
فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۶۷/۴۶±۰/۳۵^{Aa}	۶۱/۲۰±۰/۸۰^{Ba}	۶۰/۱۱±۰/۷۵^{Ba}	۵۵/۴۰±۰/۹۵^{Ca}
فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۶۴/۹۶±۰/۴۶^{Ab}	۶۱/۲۰±۰/۴۰^{Ba}	۵۸/۸±۰/۶۹^{Cab}	۵۴/۹۰±۱/۰۵^{Da}
فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۶۶/۵۶±۰/۲۳^{Aa}	۵۹/۳۳±۱/۰۰^{Bb}	۵۷/۷۶±۰/۵۶^{Cb}	۵۰/۸۶±۱/۲۸^{Dc}

داده‌ها به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. (a-b) در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت تیمارها در هر زمان و (A-D) در هر ردیف نشان‌دهندهٔ تغییرات هر تیمار در طول زمان می‌باشند. شاهد فاقد عصارهٔ جلبک و سایر تیمارها به‌ترتیب حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای می‌باشند.

نتایج آنالیز آماری جدول (۴) حاکی از وجود اثرات معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) میان تیمارهای مختلف و همچنین زمان‌های متفاوت نگهداری می‌باشد. شاخص روشنایی در تمامی تیمارها در طول دورهٔ نگهداری کاهش یافت ($P<۰/۰۵$). در پایان دورهٔ نگهداری بیشترین شاخص روشنایی را تیمار ۱ درصد نشان داد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۵$).

جدول ۴ - تغییرات روشنایی تیمارهای مختلف فیلهٔ ناگت‌های سرخ‌شدهٔ نهایی طی ۳ ماه نگهداری به‌صورت منجمد

تیمار/ زمان (ماه)	۰	۱	۲	۳
شاهد	۵۸/۰۳±۰/۱۵^{Ac}	۵۴/۳۶±۰/۶۱^{Bb}	۵۰/۶۳±۰/۴۰^{Cb}	۴۷/۸۳±۰/۳۵^{Dbc}
فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۶۵/۵۰±۰/۲۶^{Aa}	۵۴/۱۳±۰/۲۰^{Bb}	۵۲/۹۰±۰/۵۵^{Ca}	۴۹/۶۶±۰/۵۰^{Da}
فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۶۱/۷۰±۰/۳۴^{Ab}	۵۶/۳۳±۰/۱۰^{Ba}	۵۱/۷۶±۰/۷۵^{Cab}	۴۷/۹۶±۰/۵۶^{Db}
فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۵۴/۹۰±۰/۴۰^{Ad}	۴۹/۹۳±۰/۱۵^{Bc}	۴۹/۱۶±۰/۶۰^{Bc}	۴۷/۰۶±۰/۱۵^{Cc}

داده‌ها به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. (a-b) در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت تیمارها در هر زمان و (A-D) در هر ردیف نشان‌دهندهٔ تغییرات هر تیمار در طول زمان می‌باشند. شاهد فاقد عصارهٔ جلبک و سایر تیمارها به‌ترتیب حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای می‌باشند.

سختی

نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که میزان سختی در تمام تیمارها در طی دورهٔ نگهداری روند نزولی داشت ($P<۰/۰۵$). که این روند در تیمار شاهد با شدت بیشتری انجام شد. در ماه سوم نگهداری تیمار ۳ درصد بیشترین میزان سختی را داشت که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P<۰/۰۵$).

جدول ۵ - میزان سختی (g) تیمارهای مختلف فیلهٔ ناگت طی ۳ ماه نگهداری به‌صورت منجمد

تیمار/ زمان (ماه)	۰	۱	۲	۳
شاهد	۵۱۹۸/۸۳±۱۵۸/۶۶^{Aa}	۲۹۴۷/۸±۲/۴۶۱^{Bb}	۲۷۶۵/۱۷±۷۳/۲۶^{Bb}	۱۶۴۳/۸۳±۱۳۹/۶۶^{Cc}
فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۵۲۲۵/۰۰±۸۷/۰۷^{Aa}	۳۰۸۴/۸۳±۱۹۳/۰۴^{Bb}	۲۳۳۱/۳۳±۱۲۴/۳۵^{Cc}	۲۳۱۰/۰۰±۵۹/۶۰^{Cb}
فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۵۲۳۱/۵۰±۱۸۵/۴۸^{Aa}	۳۸۲۳/۷۲±۱۷۵/۸۹^{Ba}	۲۸۸۴/۸۳±۱۱۳/۱۶^{Ca}	۲۳۳۰/۰۰±۲۰۰/۰۴^{Db}
فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۵۳۲۶/۵۰±۱۰۵/۱۸^{Aa}	۳۸۸۲/۵۳±۲۲۴/۶۶^{Ba}	۲۹۳۹/۶۷±۷۶/۲۹^{Ca}	۲۶۰۷/۰۰±۱۴۹/۸۸^{Da}

داده‌ها به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. (a-b) در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت تیمارها در هر زمان و (A-D) در هر ردیف نشان‌دهندهٔ تغییرات هر تیمار در طول زمان می‌باشند. شاهد فاقد عصارهٔ جلبک و سایر تیمارها به‌ترتیب حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای می‌باشند.

قابلیت جویدن

نتایج آنالیز آماری جدول (۶) حاکی از وجود اثرات معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) میان تیمارهای مختلف و همچنین زمان‌های متفاوت نگهداری می‌باشد. این فاکتور در طی دورهٔ نگهداری در تمامی تیمارها کاهش معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۵$)، که بیشترین کاهش را تیمار شاهد نشان داد. در پایان دورهٔ نگهداری بیشترین و کمترین میزان قابلیت جویدن به‌ترتیب مربوط به تیمارهای ۳ درصد و شاهد بود.

جدول ۶ - تغییرات قابلیت جویدن (gmm) تیمارهای مختلف فیلهٔ ناگت طی ۳ ماه نگهداری به‌صورت منجمد

تیمار/ زمان (ماه)	۰	۱	۲	۳
شاهد	۹۱۴۱/۸۹±۸۲/۸۱^{Ab}	۸۶۰۷/۲۶±۱۱۴/۹۴^{Bb}	۴۶۷۴/۹۵±۱۸۶/۰۷^{Cc}	۴۰۲۸/۳۳±۱۴۱/۶۸^{Db}
فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۹۰۷۸/۹۴±۷۹/۹۷^{Ab}	۶۷۸۳/۳۴±۱۷۷/۰۶^{Bc}	۴۹۲۰/۳۴±۱۸۴/۸۲^{Cb}	۳۱۳۴/۹۸±۱۲۲/۷۱^{Dd}
فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۷۹۵۷/۱۱±۱۸۰/۰۷^{Ac}	۵۴۱۷/۱۱±۱۹۱/۰۷^{Bd}	۴۰۱۲/۷۹±۱۰۳/۵۹^{Cd}	۳۴۲۷/۴۷±۱۴۰/۱۰^{Dc}
فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۱۳۱۲۱/۸۳±۱۰۶/۷۶^{Aa}	۱۱۴۰۴/۸۳±۱۹۹/۵۶^{Ba}	۱۱۰۹۷/۳۱±۱۱۹/۶۳^{Ba}	۹۹۵۸/۲۱±۱۶۹/۴۰^{Ca}

داده‌ها به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. (a-b) در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت تیمارها در هر زمان و (A-D) در هر ردیف نشان‌دهندهٔ تغییرات هر تیمار در طول زمان می‌باشند. شاهد فاقد عصارهٔ جلبک و سایر تیمارها به‌ترتیب حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای می‌باشند.

قابلیت ارتجاعی

طبق نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۷) میزان قابلیت ارتجاعی طی دورهٔ نگهداری در تمامی تیمارها کاهش معنی‌داری یافت ($P<۰/۰۵$). در پایان دورهٔ نگهداری کمترین و بیشترین میزان قابلیت ارتجاعی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای ۱ درصد و شاهد بود.

جدول ۷ - تغییرات قابلیت ارتجاعی (mm) تیمارهای مختلف فیلهٔ ناگت طی ۳ ماه نگهداری به‌صورت منجمد

تیمار/ زمان (ماه)	۰	۱	۲	۳
شاهد	۴/۵۹±۰/۱۱^{Aa}	۴/۴۶±۰/۳۱^{Aa}	۳/۳۷±۰/۰۴^{Ba}	۳/۷۶±۰/۱۶^{Ba}
فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۴/۵۰±۰/۲۸^{Aa}	۳/۶۰±۰/۲۱^{Bb}	۲/۹۰±۰/۱۲^{Cb}	۳/۳۳±۰/۱۸^{Bb}
فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۴/۵۴±۰/۳۵^{Aa}	۳/۶۸±۰/۲۳^{Bb}	۲/۸۰±۰/۱۸^{Cb}	۳/۳۸±۰/۱۷^{Bb}
فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۴/۵۵±۰/۱۶^{Aa}	۳/۷۰±۰/۲۷^{Bb}	۲/۹۹±۰/۱۰^{Cb}	۳/۴۲±۰/۲۰^{Bb}

داده‌ها به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. (a-b) در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت تیمارها در هر زمان و (A-D) در هر ردیف نشان‌دهندهٔ تغییرات هر تیمار در طول زمان می‌باشند. شاهد فاقد عصارهٔ جلبک و سایر تیمارها به‌ترتیب حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای می‌باشند.

ارزیابی حسی

طبق جدول (۸) در تمامی تیمارها با گذشت زمان فاکتور طعم، بافت، بو، رنگ و پذیرش کلی کاهش معنی‌داری نشان دادند ($P<۰/۰۵$)، که البته این کاهش در تیمار شاهد با سرعت بیشتری صورت گرفت. همان‌طورکه در جدول (۸) مشاهده می‌شود در انتهای دوره بیشترین امتیاز طعم مربوط به تیمار ۲ و ۳ درصد بود و بین تیمارهای ۱، ۲ و ۳ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. درمورد بافت، از ماه اول تا پایان دورهٔ نگهداری تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را با تیمارهای ۱، ۲ و ۳ درصد نشان دادند ($P<۰/۰۵$). کمترین تغییرات مربوط به فاکتور بو مربوط به تیمار ۲ و ۳ درصد بود و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P<۰/۰۵$). از لحاظ رنگ، کمترین تغییرات مربوط به تیمار ۲ و ۳ درصد بود و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). در انتهای دوره بیشترین امتیاز پذیرش کلی مربوط به تیمار ۲ و ۳ درصد بود و بین تیمارهای ۱، ۲ و ۳ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$).

جدول ۸ - نتایج ارزیابی حسی فیلهٔ ناگت ماهی قزل‌آلا طی نگهداری به‌صورت منجمد

فاکتور	تیمار/زمان (ماه)	۰	۱	۲	۳
طعم	شاهد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۲/۴۵±۰/۱۱^{Bb}	۱/۶۶±۰/۲۱^{Cb}	۱/۰۰±۰/۰۰^{Cb}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۲۴±۰/۲۹^{Ba}	۳/۱۶±۰/۲۲^{Ca}	۲/۰۵±۰/۱۵^{Da}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۲۲±۰/۳۶^{Ba}	۳/۰۷±۰/۱۹^{Ca}	۲/۱۰±۰/۱۶^{Da}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۱۴±۰/۲۶^{Ba}	۳/۰۴±۰/۱۶^{Ca}	۲/۱۰±۰/۱۶^{Da}
بافت	شاهد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۳/۱۶±۰/۱۶^{Bb}	۱/۶۶±۰/۲۱^{Cb}	۱/۰۰±۰/۰۰^{Cb}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۰۸±۰/۲۳^{Ba}	۳/۰۴±۰/۲۲^{Ca}	۱/۹۵±۰/۱۵^{Da}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۰۴±۰/۱۸^{Ba}	۳/۰۴±۰/۱۹^{Ca}	۲/۰۰±۰/۱۶^{Da}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۰۴±۰/۱۸^{Ba}	۳/۰۴±۰/۱۹^{Ca}	۲/۰۰±۰/۱۶^{Da}
بو	شاهد	۴/۵۰±۰/۲۲^{Aa}	۲/۴۷±۰/۱۸^{Bb}	۱/۰۰±۰/۰۰^{Cb}	۱/۰۰±۰/۰۰^{Cc}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۴/۸۰±۰/۰۹^{Aa}	۴/۳۱±۰/۱۴^{Ba}	۳/۳۰±۰/۱۳^{Ca}	۲/۱۰±۰/۰۱^{Db}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۴/۶۰±۰/۲۰^{Aa}	۴/۳۷±۰/۱۳^{Ba}	۳/۳۷±۰/۱۳^{Ca}	۲/۱۸±۰/۱۱^{Da}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۴/۶۰±۰/۲۰^{Aa}	۴/۳۴±۰/۱۳^{Ba}	۳/۳۴±۰/۱۳^{Ca}	۲/۱۸±۰/۱۱^{Da}
رنگ	شاهد	۴/۹۱±۰/۰۸^{Aa}	۳/۵±۰/۲۲^{Bb}	۲/۵۰±۰/۲۲^{Cb}	۱/۲۵±۰/۱۷^{Cc}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۳۵±۰/۲۰^{Ba}	۳/۱۶±۰/۱۰^{Ca}	۲/۰۹±۰/۱۳^{Db}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۳۶±۰/۲۰^{Ba}	۳/۲۵±۰/۱۱^{Ca}	۲/۱۶±۰/۳۶^{Da}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۵/۰۰±۰/۰۰^{Aa}	۴/۳۶±۰/۲۰^{Ba}	۳/۲۵±۰/۱۱^{Ca}	۲/۱۶±۰/۳۶^{Da}
پذیرش کلی	شاهد	۴/۸۳±۰/۱۶^{Aa}	۳/۴۳±۰/۰۷^{Bb}	۱/۸۳±۰/۱۰^{Cb}	۱/۴۰±۰/۰۵^{Db}
	فیلهٔ ناگت ۱ درصد	۴/۹۳±۰/۰۶^{Aa}	۴/۲۵±۰/۱۱^{Ba}	۳/۱۶±۰/۱۰^{Ca}	۲/۰۴±۰/۰۴^{Da}
	فیلهٔ ناگت ۲ درصد	۴/۹۳±۰/۰۶^{Aa}	۴/۲۵±۰/۱۱^{Ba}	۳/۰۸±۰/۰۸^{Ca}	۲/۰۸±۰/۰۹^{Da}
	فیلهٔ ناگت ۳ درصد	۴/۹۳±۰/۰۶^{Aa}	۴/۰۳±۰/۰۲^{Ba}	۳/۱۶±۰/۱۰^{Ca}	۲/۰۸±۰/۰۸^{Da}

داده‌ها به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. (a-b) در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت تیمارها در هر زمان و (A-D) در هر ردیف نشان‌دهندهٔ تغییرات هر تیمار در طول زمان می‌باشند. شاهد فاقد عصارهٔ جلبک و سایر تیمارها به‌ترتیب حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای می‌باشند.

بحث

بازده

سرعت فسادپذیری بالا، اکسیداسیون و تغییر رنگ بافت ماهی سبب می‌گردد تا دورهٔ ماندگاری آن محدود باشد و برای افزایش زمان نگهداری آن از روش‌های مختلفی استفاده شود ازجمله تکنیک‌های به‌کاربرده‌شده می‌توان به اثر ترکیبی روکش و اسانس، نمک‌سودکردن و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و مصنوعی برای افزایش عمر ماندگاری محصولات دریایی و حفظ کیفیت آبزیان اشاره کرد.

مقدار بازده محصول ازنظر اقتصادی برای مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان صنعت فراوری مواد غذایی بسیار مهم است (Varela & Fiszman, 2011). همان‌طورکه در جدول (۱) مشاهده می‌شود فیلهٔ ناگت دارای ۱ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای طی دورهٔ نگهداری بیشترین میزان بازده را دارا بود. در تحقیق حاضر، میزان بازده محصول با افزایش غلظت عصارهٔ جلبک کاهش می‌یابد. Killincceker و Hepsage (۲۰۱۲) گزارش کردند که پوشش‌دهی سیب‌زمینی سرخ‌شده با آرد نخود و گندم و سپس محلول زانتان ۱ درصد باعث افزایش معنی‌دار بازده محصول می‌شود. Maskat و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که بازده محصول به درصد هیدروکلوئید ترکیب بستگی دارد. مقدار رطوبت محصول و ظرفیت نگهداری آب بر میزان بازده محصول تأثیرگذار است (Das *et al*., 2008)، به‌طوری‌که بالابودن ظرفیت نگهداری آب منجربه حفظ رطوبت محصول و مانع از بروز تغییرات عمده در میزان بازده محصول می‌شود. در این تحقیق بالاترین میزان رطوبت را تیمار ۱ درصد نشان داد و درنتیجه دارای بالاترین میزان بازده بود (اجاق و همکاران، ۱۳۹۲؛ Remya *et al*., 2015).

چروکیدگی

چروکیدگی به‌دلیل ازدست‌دادن رطوبت و دناتوره‌شدهٔ پروتئین در اثر حرارت ناشی از فرایند پخت رخ می‌دهد (Ziaiifar *et al*., 2008). طبق جدول (۱) نتایج نشان می‌دهد که زمان نگهداری اثر معنی‌داری بر میزان چروکیدگی نمونه‌ها دارد. در مراحل اولیهٔ سرخ‌کردن، با کاهش رطوبت محصول، چروکیدگی به سرعت اتفاق می‌افتد و درنهایت پس از شکل‌گیری پوسته محکمی که مانع هدررفت و تبخیر بیشتر رطوبت می‌گردد، چروکیدگی متوقف می‌گردد. دمای بالای سرخ‌کردن منجربه ایجاد چروکیدگی بیشتری در محصول می‌شود و میزان چروکیدگی تا حد زیادی به میزان رطوبت محصول بستگی دارد (Ziaiifar *et al*., 2008). به‌طورکلی، میان میزان چروکیدگی و مقدار اُفت رطوبت محصول ارتباط مستقیمی موجود است (Ziaiifar *et al*., 2008). در این تحقیق تیمار ۱ درصد در طول دورهٔ نگهداری کمترین اُفت رطوبت را دارا بود درنتیجه کمترین چروکیدگی را نشان داد.

رطوبت و چربی

مقدار رطوبت فراورده‌های گوشتی لعاب‌دهی و سوخاری‌شده پس از سرخ‌کردن، متأثر از ظرفیت نگهداری آب پروتئین می‌باشد که با رطوبت خارج‌شده از فراوردهٔ تحت فشار رابطهٔ معکوس دارد (Remya *et al*., 2015)، به‌علاوه میزان رطوبت و چربی رابطهٔ معکوسی دارند، درنتیجه درصورت ظرفیت نگهداری بالای آب و کاهش رطوبت تحت فشار، مادهٔ غذایی طی سرخ‌شدن چربی کمتری جذب می‌کند (اجاق و همکاران، ۱۳۹۲). طبق نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۳) تیمار حاوی ۱ درصد عصارهٔ جلبک، در پایان دورهٔ نگهداری بالاترین میزان رطوبت را دارا بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد، این درحالی است که تیمار دارای ۳ درصد عصارهٔ جلبک، در پایان دوره کمترین میزان رطوبت را از خود نشان داد. درنتیجه باتوجه‌به اینکه رطوبت و چربی رابطهٔ عکس دارند، طبق جدول (۱) تیمار ۱ درصد کمترین چربی و تیمار ۳ درصد بالاترین میزان چربی را در پایان دوره نشان دادند.

شاخص اسید چرب آزاد

میزان اسیدهای چرب شاخصی برای اندازه‌گیری فساد چربی می‌باشد که افزایش آن پس از مرگ ماهی و در طول مدت نگهداری، نشان‌دهندهٔ فساد هیدرولیتیک چربی است (Chen & Huang, 2008). در مطالعهٔ حاضر میزان اسیدهای چرب آزاد در تمامی تیمارها طی زمان نگهداری افزایش معنی‌داری یافت. در طول دورهٔ نگهداری کمترین میزان اسیدهای چرب آزاد را تیمار ۳ درصد نشان داد که می‌تواند به‌دلیل خاصیت ضداکسیداسیون عصارهٔ جلبک قهوه‌ای باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). برخی از محققان نیز به اثربخش‌بودن ترکیبات ضداکسیداسیونی طبیعی (عصارهٔ آویشن، عصارهٔ جعفری، عصارهٔ پوسته جو) در

کاهش میزان اسیدهای چرب آزاد اشاره نمودند (شعبان‌پور و همکاران، ۱۳۹۰؛ A-Pereira de Abreu *et al*., 2011).

شاخص پراکسید

میزان پراکسید به‌عنوان شاخص اکسیداسیون چربی‌ها در نظر گرفته می‌شود و جهت اندازه‌گیری محصولات اولیهٔ اکسیداسیون یعنی هیدروپراکسیدها به‌کار می‌رود (Lin & Lin, 2005). براسا جدلو (۲)، میزان پراکسید تا ماه اول نگهداری در تمام تیمارها کاهش یافت ($P<۰/۰۵$)، که کاهش میزان پراکسید در تیمارها به‌دلیل تجزیهٔ پراکسیدها به ترکیبات ثانویه است (Rezaei & Hosseini, 2008). اما از ماه اول تا پایان دورهٔ نگهداری میزان پراکسید در تمامی تیمارها روند صعودی معنی‌داری ($P<۰/۰۵$)، را نشان می‌دهد. طبق نتایج به‌دست‌آمده در تیمارهای دارای عصارهٔ جلبک قهوه‌ای نسبت به تیمار شاهد روند افزایش شاخص پراکسید با سرعت کمتری مشاهده شد. کمترین افزایش میزان پراکسید در طی دورهٔ نگهداری در تیمار ۳ درصد مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصارهٔ جلبک قهوه‌ای باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

شاخص تیوباربیتوریک اسید

به‌منظور ارزیابی درجهٔ اکسیداسیون چربی در ماهیان، از شاخص تیوباربیتوریک اسید استفادهٔ زیادی می‌شود که این شاخص میزان محصولات ثانویهٔ اکسیداسیون به‌ویژه مالون‌آلدهید را نشان می‌دهد (Erkan *et al*., 2006; Cakli *et al*., 2006; Mendes & Gonsalvez, 2008). ازنظر زمان، طبق نتایج جدول (۲) میزان تیوباربیوتوریک اسید برای تمام تیمارها در طی زمان نگهداری افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد، که با نتایج گزارش Masnium و همکاران (۲۰۰۵) و Chaijan و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. همان‌طورکه در جدول (۲) پیداست میزان تیوباربیتوریک اسید برای تمامی تیمارها در ماه صفر پایین است که مشابه نتایج در مطالعه‌های Rezaei و Hosseini (۲۰۰۸) و Ozogul و همکاران (۲۰۰۵) روی مارماهی بود، اما با افزایش مدت زمان نگهداری و در انتهای دوره در بعضی تیمارها مثل تیمار شاهد به بالای ۴ میلی مالون‌آلدهید رسید. مقادیر تیوباربیوتوریک اسید گزارش‌شده در این مطالعه با مقادیر اندازه‌گیری‌شده در قزل‌آلای رنگین‌کمان (Chytiri *et al*., 2004)، قزل‌آلای دریاچه‌ای[1] و ماکرل[2] (Weilmeire & Regenstein, 2004) و باس دریایی[3] (Masnium *et al*., 2005) هم‌خوانی داشته، اما بیشتر از مقادیر گزارش‌شده در ماهیان باس دریایی[4] (Papadopoulos *et al*., 2003) و شمشیرماهی[5] (Pantazi *et al*., 2008) بود که می‌تواند به‌دلیل واکنش مالون‌آلدهید با ترکیباتی دیگر مانند آمین‌ها، نوکلئوتیدها، اسیدهای چرب، پروتئین‌ها، فسفولیپیدها و دیگر آلدهیدهای حاصل از اکسیداسیون باشند. طبق نتایج به‌دست‌آمده در طول دورهٔ نگهداری کم‌بودن مقادیر تیوباربیوتوریک اسید در تیمارهای حاوی عصارهٔ جلبک قهوه‌ای نسبت به تیمار شاهد را می‌توان به‌دلیل اثر ضداکسیداسیونی عصارهٔ جلبک و ممانعت پوشش از نفوذ اکسیژن دانست (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Chidanandaiah *et al*., 2007؛ Luo *et al*., 2008). همچنین در طول دورهٔ نگهداری کمترین میزان تیوباربیوتوریک اسید را تیمار حاوی ۳ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای نشان داد که به‌دلیل اثر ضداکسیداسیونی بالای عصارهٔ جلبک می‌باشد. Jeya و همکاران (۲۰۰۵) محدودهٔ ۲-۱ میلی‌گرم مالون‌آلدهید بر کیلوگرم چربی را به‌عنوان حد قابل‌قبول مقادیر تیوباربیوتوریک اسید در ماهیان معرفی کردند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، مقادیر تیوباربیتوریک اسید تمام تیمارها از ماه دوم نگهداری از حد قابل‌قبول پیشنهادی بیشتر بود.

رنگ‌سنجی

یکی از پارامترهایی که بر میزان بازارپسندی محصولات روکش‌دار مؤثر است، رنگ نهایی این

[1] *Salvelinus namaycush*
[2] *Scomber scombrus*
[3] *Lates calcalifer*
[4] *Dicentrarchus labrax*
[5] *Xiphias gladius*

محصولات می‌باشد. فرایند سرخ‌کردن باعث کاهش مقدار روشنایی ناگت‌های ماهی شد. طی فرایند سرخ‌کردن محصولات لعاب‌دهی‌شده و سوخاری‌شده واکنش‌های شیمیایی مختلفی ازقبیل دناتوره‌شدن پروتئین‌ها، ژلاتینه‌شدن نشاسته و واکنش قهوه‌ای‌شدن لعاب و پوشش آرد سوخاری رخ می‌دهد که کلیهٔ این واکنش‌ها، باعث ایجاد تغییرات پیچیده در رنگ می‌گردند (Das *et al*., 2008). باتوجه‌به جدول (۳)، طی ۳ ماه نگهداری مقدار روشنایی در تمام فیلهٔ ناگت‌های سرخ‌شدهٔ مقدماتی و نهایی کاهش یافت. به‌دلیل واکنش میلارد که طی مرحلهٔ سرخ‌کردن رخ می‌دهد، روکش حاوی آرد گندم، آرد گلوتن یا نشاسته رنگ تیره‌تری را دربردارند (Chen *et al*., 2009). Sahin و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که افزایش میزان جذب روغن توسط ناگت مرغ طی سرخ‌کردن نهایی باعث کدرشدن رنگ روکش می‌گردد. تیمار حاوی ۱ درصد عصارهٔ جلبک قهوه‌ای رنگ روشن‌تری نسبت به سایر تیمارها داشت، زیرا میران رطوبت با میزان روشنایی رابطهٔ مستقیمی دارد (شعبانپور و همکاران، ۱۳۹۰؛ اجاق و همکاران، ۱۳۹۲؛ Albert *et al*., 2009). ترکیبات موجود در عصارهٔ جلبک می‌تواند با رطوبت پیوند برقرار کرده و از دهیدارته‌شدن ممعانت نموده و واکنش میلارد کمتری را طی سرخ‌کردن باعث می‌شود (Akdeniz *et al*., 2006). همچنین تیمار ۳ درصد کمترین میزان روشنایی را نشان داد که ممکن است به‌دلیل افزایش واکنش قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی میلارد باشد زیرا غوطه‌وری فیلهٔ ناگت با غلظت بالای این محصول مانع از انتقال رطوبت داخلی به روکش خارجی می‌شود.

بافت‌سنجی

بافت یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی گوشت ماهی است و در صنایع فراوری آبزیان اهمیت زیادی دارد (Jain *et al*., 2007). طبق نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۵) سختی فیلهٔ ناگت‌ها در تمام تیمارها با گذشت زمان کم شد. این نتایج با بررسی‌های Alasalvar و همکاران (۲۰۰۱) که روی فینگرهای تولیدی از سوریمی ماهی سیم دریا و Altunakar و همکاران (۲۰۰۶) روی ناگت مرغ هم‌خوانی داشت. کاهش در میزان سختی فیلهٔ ناگت‌ها احتمالاً به‌دلیل کاهش رطوبت، دناتوره‌شدن پروتئین، ضعیف‌شدن آندومیسیوم به‌عنوان قسمتی از بافت پیوندی و نیز به‌دلیل فروپاشی پروتئین‌های خط Z میوفیبریل (Masnium *et al*., 2005) و به‌دلیل افزایش بار میکروبی فیله‌ها می‌باشد (Kilinc *et al*., 2009). در پایان دورهٔ نگهداری تیمار دارای ۳ درصد عصارهٔ جلبک بالاترین میزان سختی را داشت که به‌دلیل غلظت بالای عصارهٔ جلبک، رطوبت پایین نسبت به سایر تیمارها، فعالیت ضداکسیداسیونی قوی در برابر دناتوره‌شدن پروتئین و اثر محافظتی عصاره روی بافت پیوندی و درنتیجه بالابودن میزان سختی در این تیمار نسبت به سایر تیمارها می‌باشد (Masnium *et al*., 2005; Altunakar *et al*., 2006).

براساس جداول (۶) و (۷) خصوصیات بافتی اندازه‌گیری‌شدهٔ دیگر ازقبیل قابلیت جویدن و قابلیت ارتجاعی (الاستیسیته) در تمام تیمارها با افزایش زمان نگهداری یک روند نزولی را طی کردند که این نتایج با نتایج Toloui و همکاران (۲۰۱۳) که گزارش نمودند ترکیبات ضداکسیداسیونی (کیتوزان و توکوفرول‌ها) در بهبود خصوصیات بافتی تأثیر دارد، مطابقت داشت. در کل مطالعه‌های کمی درمورد اثر ماکروجلبک‌ها درمورد خصوصیات بافتی فراورده‌های گوشتی توسط آنالیز دستگاهی وجود دارد.

ارزیابی حسی

ابتدای دورهٔ ارزیابی حسی تمام تیمارها ازنظر طعم دارای شرایط عالی بودند و اختلاف معنی‌داری میان تیمارها وجود نداشت اما در انتهای دوره و با گذشت زمان فیلهٔ ناگت‌ها طعم نامطلوبی را گرفتند که در انتهای دوره بهترین وضعیت مربوط به تیمار دارای ۳ درصد عصارهٔ جلبک بود، همچنین میان تیمارها با درصدهای مختلف جلبک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، بسته به قرارگرفتن در معرض نور، دما و شرایط نگهداری، کاهش قندها همراه با لیپیدهای اکسیدشده

می‌توانند خواص مواد غذایی مانند طعم، بو و بافت را درگیر کنند (Piras *et al*., 2007). درمورد بافت نیز روند به‌این‌صورت بود که در ابتدای دوره تمام تیمارها دارای بافت نرم بوده اما در انتهای دوره وضعیت بافت در تیمار شاهد محکم و سفت بود، که بهترین وضعیت بافت مربوط به تیمارهای دارای درصدهای متفاوت عصارهٔ جلبک بوده و همان‌طورکه در جدول (۸) مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری میان تیمارهای ۱، ۲ و ۳ درصد دیده نشد، کاهش کیفیت بافت به‌دلیل تغییر ماهیت پروتئین‌ها و کاهش ظرفیت نگهداری آب می‌باشد (Rodriguez *et al*., 2008). گذشت زمان باعث تغییر رنگ در کلیهٔ تیمارها شد اما در انتهای دوره تیمار دارای ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک کیفیت بهتری نسبت به سایر تیمارها داشتند و اختلاف این دو تیمار (۲ و ۳ درصد) معنی‌دار نبود. شاخص بو نیز وضعیتی شبیه به رنگ داشت و در این مورد هم تیمار دارای ۲ و ۳ درصد عصارهٔ جلبک وضعیت بهتری نسبت به سایر تیمارها داشتند و اختلاف میان این دو تیمار (۲ و ۳ درصد) نیز معنی‌دار نبود. پذیرش کمتر بو در اواخر دورهٔ نگهداری در تیمارها می‌تواند ناشی از فعالیت میکروبی و فساد شیمیایی به‌ویژه اکسیداسیون چربی و بازهای نیتروژن فرار می‌باشد (Rodriguez *et al*., 2008). Kostaki و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که فیله‌های ماهی باس دریایی حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (اسیداسکوربیک) دارای وضعیت بو و مزهٔ بهتری نسبت به تیمار شاهد طی نگهداری بودند. درمورد پذیرش کلی بهترین وضعیت در انتهای دوره مربوط به تیمار ۳ درصد بود که اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بین تیمارها با درصدهای مختلف عصارهٔ جلبک وجود نداشت. مطالعه‌های Tokur و همکاران (۲۰۰۶) بر ارزیابی حسی فینگرهای تولیدی از مینس و سوریمی ماهی کپور آیینه‌ای، عدم وجود اختلاف معنی‌دار را در شاخص‌های رنگ با بو، طعم و پذیرش کلی میان فینگرهای ماهی حاصله گزارش کرد که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. روند تغییر وضعیت صفات ارزیابی حسی در تیمارها طی مدت نگهداری هماهنگ و همسو با تغییرات اکسیداسیون در تیمارهای مورد آزمایش می‌باشد. که می‌توان گفت به‌دلیل این باشد که اکسیداسیون چربی منجربه تخریب و اُفت کیفیت حسی و کاهش مقدار مواد مغذی ازجمله کاهش اسیدهای چرب چندغیراشباع ضروری (PUFA[1]) و تولید محصولات ثانویهٔ اکسیداسیون می‌باشد. ازطرفی افزایش هیدرولیز چربی و تجمع FFA منجربه‌کاهش برخی شاخص‌های مقبولیت محصول می‌شود زیرا اثبات‌شده که FFA روی ثبات پروتئین‌ها تأثیر دارد و موجب تخریب بافت ازطریق واکنش‌دادن با پروتئین می‌شود که اکسیدشدن پروتئین‌ها در این وضعیت به‌علت افزایش دسترسی پروتئین به اکسیژن و دیگر مولکول‌های پراکسید، سریع‌تر از چربی‌هایی که جزء چربی‌ها با وزن مولکولی بالا هستند (مثل تری‌گلیسریدها و فسفولیپیدها) (Rodriguez *et al*., 2008). بهبود خصوصیات حسی در تیمارهای ۱، ۲ و ۳ درصد می‌تواند به‌دلیل عصارهٔ جلبک قهوه‌ای باشد که به‌عنوان یک ضداکسیداسیون قوی عمل می‌کند و اکسیداسیون لیپیدها را کاهش می‌دهد (Kester & Fennema, 1986) و درنتیجه می‌تواند طعم، بافت، رنگ و مقبولیت کلی را بهبود بخشد، می‌باشد (Chidanandaiah *et al*., 2007).

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به نتایج تحقیق حاضر می‌توان بیان داشت که کاربرد عصارهٔ جلبک در فیلهٔ ناگت اثر مثبتی داشته، به‌طوری‌که تیمارهای دارای عصارهٔ جلبک نسبت به تیمار شاهد ماندگاری بیشتری دارند. مقادیر TBA، FFA و PV به‌عنوان شاخص‌های شیمیایی کنترل کیفیت ماهی در نمونه‌های دارای عصارهٔ جلبک کمتر از نمونهٔ شاهد بود که بهترین عملکرد را تیمار دارای ۳ درصد عصارهٔ جلبک از خود نشان داد، همچنین نتایج بازده، چروکیدگی، رطوبت، چربی، ارزیابی حسی، بافت و رنگ‌سنجی بیانگر این مطلب است که تیمارهای دارای عصارهٔ جلبک وضعیت بهتری نسبت به تیمار

[1] Polyunsaturated Fatty Acids

شاهد داشتند. باتوجه‌به شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفی و میکروبی فراورده با افزودن عصاره، بیش از ۱ ماه به دورهٔ نگهداری محصول اضافه شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عصارهٔ جلبک قهوه‌ای با غلظت ۳ درصد سبب حفظ کیفیت فیلهٔ ناگت ماهی و تغییرات حسی محسوس در فراوردهٔ موردنظر شد.

سپاسگزاری

از حمایت‌های بی‌دریغ صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation) کمال تشکر و قدردانی را دارد.

منابع

۱- اجاق، م.، کاظمی‌نیا، س.، جمشیدی، ا. و شعبان‌پور، ب. ۱۳۹۲. اثر دماهای مختلف سرخ‌کردن مقدماتی در روغن کانولا بر کیفیت و مقدار جذب روغن در قسمت‌های مختلف ناگت ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*). مجله بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۲: ۴۳-۵۹.

۲- پروانه، و. ۱۳۷۷. کنترل کیفی و آزمایش های شیمیایی مواد غذایی. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۳۲ ص.

۳- پیمانی، ج.، قرایی، الف.، غفاری، م. و طاهری، ع. ۱۳۹۳. بررسی اثرات ضدباکتریایی و ضدقارچی جلبک (*Gracilaria arcuata*) از سواحل چابهار. مجله دانشگاه علوم پزشکی قم، ۸: ۶۹-۷۵.

۴- شعبان‌پور، ب.، ذوالفقاری، م.، فلاح‌زاده، س. و علی‌پور، غ.ح. ۱۳۹۰. اثر عصارهٔ آویشن شیرازی (*Zataria multifora* Boiss) بر مدت ماندگاری فیلهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Onchoryncus mykiss*) شور و بسته‌بندی‌شده در خلأ در شرایط یخچالی: ارزیابی میکروبی، شیمیایی و حسی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۱: ۱۱-۱.

۵- محمدی، ع.، شعبانپور، ب. و کردجزی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی فعالیت ضداکسیدانی و ضدباکتریایی جلبک قهوه‌ای (*Iyengaria stellata*) جمع‌آوری‌شده از سواحل خلیج فارس. نشریه فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان، ۳: ۱-۱۵.

6- Akdeniz, N., Sahin, S., & Sumnu, G. 2006. Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. Food Engineering, 75(4):522-526.

7- Alasalvar, C., Taylor, K.D.A., Oksuz A., Garthwaite, T., Alexis, M.N., & Grigorakis, K. 2001. Freshness assessment of cultured sea bream (*sparus aurata*) by chemical, physical and sensory method. Food Chemistre, 72(1):33-40.

8- Albert, A., Perez-Munuera, I., Quiles, A., Salvador, A., Fiszman, S.M., & Hernando, I. 2009. Adhesion in fried battered nuggets: performance of different hydrocolloids as predust using three cooking procedurers. Food Hydrocolloids, 23(5):1443-1448.

9- Albert, A., Varela, P., Salvador, A., & Fiszman, S.M. 2009. Improvement of crunchiness of battered fish nuggets. Journal of Eruopean Food Research Technology, 228(6):923-930.

10- Altunakar, B., sahin, S., & Sumnu, G. 2006. Effect of hydrocolloids on apparent viscosity of batters and quality of chichen nuggets. Chemical Engineering Communication, 193(6):675-682.

11- De Abreu, D.A.P., Maroto, J., Rodriguez, K.V., & Cruz, J.M. 2012. Antioxidant from barley husks impregnated in films of low-density polyethylene and their effect over lipid deterioration of frozen cod (*gadus mohua*). Journal of Food Science and Agriculture, 92(2):427-432.

12- Bouga, M., & Combet, E. 2015. Emergence of seaweed and seaweed-containing food in the UK: focus on labeling, lodine content, toxicity and nutrition. Journal of Foods, 4(2):240-253.

13- Cakli, S., Kilinc, B., cadum, A., Dincer, T., & Tolasa, S. 2006. Effect of gutting and ungutting on microbiological, chemical, and sensory properties of aquacultured sea bream (*sparus aurata*) a sea bass (*dicentrarchus labrax*) stored in ice. Journal of Food Science and Nutrition, 46(7):519-527.

14- Chaijan, M., Benjakul, S., & Visessanguan, W. 2006. Changes of lipids in sardine (*sardinella gibbosa*) muscle during iced storage. Food Chemistry, 99(1):83-91.

15- Chen, H., & Huang, Y. 2008. Rheological properties of HPMC enhanced surimi analyzed by small and larg-strain tests-II: effect of water content and ingredients. Food Hydrocolloids, 22(2):313-322.

16- Chen, S.D., Chen, H.H., Chao, Y.C., & Lin, R.S. 2009. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets. Journal of Food Engineering, 95(2):359-364.

17- Keshri, R.C., & Sanyal, M.K. 2007. Effect of sodium alginate coating with preservatives on the quality of meat patties during refrigerated (4 ±1°C) storage. Journal of Food Muscle, 20(3):275-292.

18- Chytiri, S., Chouliara, I., savvaidis, I.N., & Kontominas, M.G. 2004. Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. Journal of Food Microbiology, 21(2):157-165.

19- Cox, S., Abu-Ghannam N., & Gupta, S. 2010. An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible irish seaweeds. International Food Research Journal, 17:205-220.

20- Das, A.K., Anjaneyulu, A.S.R., Gadekar, Y.P., Singh, R.P., & Pragati, H. 2008. Effect of full-fat soy paste and textured soy granules on quality and shelf-life of goat meat nuggets in frozen storage. Journal of Meat Science, 80(3):607-614.

21- Erkan, N., Ozden, O., Alakavuk, D.u., Yidirim, S.y., & Lnugur M. 2006. Spoilage and shelf life of sardines (*sardina plichardus*) packed in modified atomospher. Journal of European Food Research Technology, 222:667-673.

22- Fan, W., Sun, J., Chen, Y., Qiu, J., Zhang, Y., & Chi, Y. 2009. Effects of chitosan coating on quality and shelf-life of silver carp during frozen storage. Food Chemistery, 115(1):66-70.

23- Igan, J.O., King, J.A., Pearson, A.M., & Gray, I.I. 1979. Influence of heme pigments, nitrite and nonheme iron on development of warmed-over flavore (WOF) in cooked meat. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 27(4):838-842.

24- Jain, D., pathar, P., & manikanta, M. 2007. Evalution of texture parameters of rohu fish (*Labeo rohita*) during iced storage. Journal of Food Engineering, 81(2):336-340.

25- Kester, J.J., & Fennema, O.R. 1986. Edible films and coatings: a review. Journal of Food Technology, 43:2839-2845.

26- Kilinc, B., Cakil, s., Cadum, A., & Sen, B. 2009. Effect of phosphate dip treatments on chemical, microbiological, color, textural, and sensory changes of rainbow trout (*onchoryncus mykiss*) fillets during refrigerated storage. Journal of Food Product Technology, 18(1-2):108-119.

27- Killincceker, O., & Hepsag, F. 2012. Edible coating effects of fried potato balls. Journal of Food and Bioprocess Technology, 5(4):1349-1354.

28- Kostaki, M., Giatrakou, V., Savvaidis, I.N., & Kontominas, M.G. 2009. Combined effect of MAP and thyme essential oil on the microbiological, chemical and sensory attributes of organically aquacultured sea bass (*dicentrarchus labrax*) fillets. Journal of Food Microbiology, 26(5):475-482.

29- Kuda, T., Taniguchi, E., Nishizawa, M., & Araki, Y. 2002. Fate of water- soluble polysaccharides in dried *Chorda filum a* brown alga during water washing. Journal of Food Composition and Analysis, 15(1):3-9.

30- Lim, S.N., Cheung, P.C.K., Ooi, V.E.C., & Ang, P.O. 2002. Evalution of antioxidative activity of extract from a brown seaweed, *sargassum siliquastrum*. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50(13):3862-3866.

31- Lin, C.C., & Lin, C.S. 2005. Enhancement of the storage quality of frozen bonito fillet by glazing with tea extracts. Journal of Food Chemistry, 16(2):169-175.

32- Lu, F., Liu, D., Ye, X., Wei, Y., & Liu, F. 2009. Alginate-calcium coating incorporating nisin and EDTA maintains the quality of fresh northern snakehead (*channa argus*) fillets stored at 4°C. Journal of the Science of Food and Agriculture, 89(5):848-854.

33- Luo, Y., Shen, H., Pan, D., & Bu, G. 2008. Gel properties of surimi from silver carp (*hypophthalmichthys molitrix*) as affected by heat treatment and soy protein isolate. Journal of Food hydrocolloids, 22(8):1513-1519.

34- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H.S., & Marcotte, M. 2008. Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. Journal of Food Science and Technology, 43(6):951-957.

35- Maskat, M.Y., Yip, H.H., & Mahali, H.M. 2005. The performance of a methyl cellulose-treated coating during the frying of a poultry product. Journal of Food Science and Technology, 40(8):811-816.

36- Masniyom, P., Benjakul, S., & Visessanguan, W. 2005. Combination effect of phosphate and modified atmosphere on quality and shelf-fish extension of refrigerated seabass slices. LWT-Food Science and Technology, 38(7):745-756.

37- Mendes, R., & 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(9):1678-1687.

38- Modi, V.K., Sachindra, N.M., Nagegowda, P. Mehendrakar, N.S., & Rao, D.N. 2007. Quality changes during the storage of dehydrated chicken kebab mix. International Journal of Food Science and Technology, 42(7):827-835.

39- Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, Sh., & Hosseini, S.M.H. 2010. Effect of chitosan coating enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. Food Chemistry, 120(1):193-198.

40- Ozogul, Y., Ozyurt, G., Ozogul, F., Kuley, E., & Polat, A. 2005. Freshness assessment of European (*anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. Food Chemistry, 92(4):745-751.

41- Pantazi, D., Papavergou, A., Pournis, N., Kontominas, M.G., & Savvaidis, I.N. 2008. Shelf-life of chilled fresh mediterranean swordfish (*Xiphias gladius*) stored under varius packaging condition: Microbiological, biochemical and sensory attributes. Journal of Food Microbiology, 25(1):136-143.

42- Papadopoulos, V., Chouliara, I., Badeka, A., Savvaidis, I.N., & Kontominas, M.G. 2003. Effect of gutting on microbiological, chemical, and sensory properties of aquacultured sea bass (*dicentrarchus labrax*) stored in ice. Journal of Food Microbiology, 20(4):411-420.

43- Park, P.J., Shahidi, F., & Jeon, Y, J. 2004. Antioxidant activities of enzymatic extracts from an edible seaweed *sargassum horneri* using ESR spectrometry. Journal of Food Lipids, 11(1):15-27.

44- Piras, C., Scano, P., Locci, E., Sanna, R., & Marincola, F.C. 2014. Analysing the effects of frozen storage and processing on the metabolite profile of raw mullet roes using ^{1}H NMR spectroscopy. Food Chemistry, 159:71-79.

45- Remya, S., Basu, S., Venkateshwarlu, G., & Mohan, C.O. 2015. Quality of shrimp analogue product as affected by addition of modified potato starch. Journal of Food Science and Technology, 52(7):4432-4440.

46- Rezaei, M., & Hosseini, S.F. 2008. Quality assesssment of farmed rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) during chilled storage. Journal of Food Science, 73(6):93-96.

47- Rodriguez, A., Carriles N.M., Cruz, J., & Aubourg, P. 2008. Changes in the flesh of cooked farmed salmon (*oncorhynchus kisutch*) with previous storage in slurry ice (-1.5˚C). LWT-Food Science and Technology, 41(9):1726-1732.

48- Sahin, S., Summu, G., & Altunakar, B. 2005. Effects of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken nuggets. Journal of Food Science and Agriculture, 85(14):2375-2379.

49- Jeya, S.R., Jeyasekaram, G., & Vijayalakshmi, S.K. 2005. Effect of vacuum packaging on the quality characteristics of seer fish (*scomberomorus commersonii*) chuks during refrigerated storage. Journal of Food Science and Technology, 42(5):438-443.

50- Tokur, B., Ozkutuk, S., Atici, E., Ozyurt, G., & Ozyurt, C. 2006. Chemical and sensory quality changes of fish fingers, made from mirror carp (*cyprinus carpio* L., 1758), during frozen storage (-18°C). Food Chemistry, 99(2):335-341.

51- Tolouie, H., Mohtadi Niab, J., Shakibi, A., & Jalaiani, H. 2013. Effects of chitosan enriched with a-tocopherol coating on trout quality and shelf-life during refrigerated storage. Reef Resources Assessment and Management Technical Paper, 38:497-509.

52- Varela, P., & Fiszman, S.M. 2011. Hydrocolloids in fried food: a review. Journal of Food Hyrocolloids, 25(8):1801-1812.

53- Weilmeir, D.M., & Regenstein, J.M. 2004. Antioxidant properties of phosphates and other additives during the storage of raw mackerel and lake trout. Journal of Food Science, 69(2):102-108.

54- Yu, X.L., Li, X.B., Xu, X.L., & Zhou, G.H. 2007. Coating with sodium alginate and its effects on the functional properties and structure of frozen pork. Journal of Muscle Foods, 19(4):333-351.

55- Ziaiifar, A.M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I., & Trystram, G. 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. Journal of Food Science and Technology, 43(8):1410-1423.

The Effect of Antioxidant Properties of Brown Algae (*Iyengaria Stellata)* Extract on the Shelf-life and Sensory Properties of Rainbow Trout *(Oncorhynchus Mykiss)*Fillet Nugget during Frozen Storage (-18 °C)

Omid Asadi Farsani[1], Moazameh Kordjazi[2*], Bahareh Shabanpour[3], Seyed Mahdi Ojagh[4], Aniseh Jamshidi[1]

1- Ph.D student of Seafood Processing, Department of Fisheries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Assistant Professor of Seafood Processing, Department of Fisheries and Enviromental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
* Corresponding author (kordjazi.m@gmail.com)
3- Professor of Seafood Processing, Department of Fisheries and Enviromental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- Associate Professor of Seafood Processing, Department of Fisheries and Enviromental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Due to the high levels of unsaturated fatty acids in fish muscle and increased demand for ready to eat food like nugget, the effect of antioxidant properties of brown algae *Iyengaria stellata* extract on the shelf-life and sensory properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet nugget during frozen storage were evaluated. The treatments consisted of: first treatment, control (fillet nugget without immersion in algae extract solution), the second treatment (fillet nugget with immersion in 1% algae extract), the third treatment (fillet nugget with immersion in 2% algae extract) and the fourth treatment (fillet nugget with immersion in 3% algae extract). Some chemical and physical experiments during the maintenance months (0, 1, 2 and 3) were carried out at temperature of -18 °C. According to the result, the yield and moisture during storage in all treatments decreased. However, in all treatments during storage, lipid and shrinkage reduced significantly, while the peroxide value (PV), free fatty acids (FFA) and thiobarbituric acid (TBA) showed a significant increase (P<0.05). At the end of the storage time, 1% treatment had the highest yield,cohesiveness, lights index (L), yellow index (b) and the lowest of the shrinkage, springiness, adhesiveness, lipidand 3% treatment had the highest hardness, adhesiveness, adhesiveness force, chewiness and red index (a) and the lowest moisture, peroxide value (PV), free fatty acids (FFA), thiobarbituric acid (TBA) and adhesiveness force. Therefore, applying the *Iyengaria stellata* extract showedreduction in the rate of chemical degradation and improved sensory condition of rainbow trout fillet nugget during frozen storage.

Keywords: Antioxidant, Fillet Nugget, *Iyengaria Stellata*, Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*)

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۱۷۶-۱۶۷

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

مقایسهٔ روش‌های مختلف شکست سلولی و استخراج اسید چرب از ریزجلبک *Dunaliella Salina*

فرزانه مهرابی[۱]، سیدعلی جعفرپور[۲*]، قربانعلی نعمت‌زاده[۳]

۱- دانشجوی دوره دکتری تخصصی، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
* نویسندهٔ مسئول (a.jafarpour@sanru.ac.ir)
۳- استاد، گروه اصلاح نژاد گیاهی و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۱

واژه‌های کلیدی
استخراج چربی
تخریب سلول
ریزجلبک *Dunaliella Salina*
هموژنیزاسیون

چکیده

کمّیت و کیفیت چربی استخراج‌شده از ریزجلبک‌ها شدیداً متأثر از روش انتخابی برای تخریب و شکستن سلول‌ها و نوع حلال می‌باشد. در این پژوهش با مقایسهٔ چندین ماده و روش متفاوت، شامل آنزیم (سلولاز و فلورزایم)، التراسوند و هموژنایزر با سطوح مختلف و حلال‌های آب، اتانول و متانول مؤثرترین شیوهٔ تخریب سلول‌های ریزجلبکی *Dunaliella Salina* و بهترین حلال به‌منظور استخراج اسیدهای چرب موردبررسی قرار گرفت. براساس نتایج آنزیمی میزان روغن استخراجی با سطح سلولاز ۳ درصد و فلورزایم ۱/۵ درصد برابر ۲/۰۴ گرم بر لیتر برحسب وزن خشک جلبک، التراسوند میزان روغن استخراجی ۱/۶۱ گرم بر لیتر در مدت زمان ۳ دقیقه و ترکیب روش‌های آنزیمی و هموژنایزر ۲/۲۶ گرم بر لیتر ثبت گردید. ازطرفی میزان اسیدهای چرب C16:0، C18:1 و C18:2 استخراجی در بین ۳ حلال مختلف اتانول به‌ترتیب به میزان ۸/۲۲، ۱/۰۸ و ۵/۱۸ درصد ثبت گردید. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، ترکیب روش‌های آنزیمی و هموژنایزر برای تخریب دیوارهٔ سلولی و استخراج اسیدهای چرب با حلال اتانول را به‌عنوان راهکاری مناسب و مؤثر پیشنهاد می‌نماید.

مقدمه

ریزجلبک‌ها اهمیت تجاری و زیست‌محیطی زیادی به‌عنوان پایهٔ زنجیرهٔ غذایی و تولیدکنندهٔ اکسیژن دارند و همچنین یک منبع طبیعی از ترکیبات باارزش مانند اسیدهای چرب، استروئیدها و کاروتنوئیدها هستند (Lee *et al*., 2014) ترکیب چربی ریزجلبک‌ها برای مقاصد مختلفی موردبررسی قرار می‌گیرد. همچنین میزان بالای چربی ریزجلبک‌های دریایی و عدم نیاز آنها به زمین‌های حاصلخیز برای پرورش، انرژی بالاتر، ویسکوزیته و چگالی کمتر ریزجلبک‌ها را به گزینهٔ مناسب‌تری به‌جای منابع زمینی جهت تولید لیپید معرفی می‌کند (Grima *et al*., 2003; Rodolfi *et al*., 2009).

تغییر شرایط محیطی علاوه‌بر تأثیر بر میزان رشد و تولید چربی می‌تواند بر کیفیت لیپید ریزجلبک‌ها نیز اثرگذار باشد (Azachi *et al*., 2002; Bai *et al*., 2014). ریزجلبک‌ها ترکیبی از اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع ۲۲ الی ۵۲ کربنه تولید می‌کنند (McMillan *et al*., 2013).

بسیاری از پروتکل‌هایی که برای شکستن سلول ریزجلبک‌ها استفاده می‌شود شامل روش‌های مکانیکی (Hoekman *et al*., 2012; Santos *et al*., 2012)، شیمیایی و گرمایشی (Gordillo *et al*., 1998; Peterson *et al*., 1983)، مایکروویوی (Meier, 1955)

و هیدرولیز آنزیمی (Choi *et al*., 2014) است. در انتخاب یک روش مطلوب جهت تخریب سلول‌ها می‌بایست عواملی مانند نوع دیوارۀ سلولی ریزجلبک، طبیعت و کیفیت متابولیت موردنظر و ابعاد کار (تجاری یا آزمایشگاهی) درنظرگرفته شود(McMillan *et al*., 2013; Nascimento *et al*., 2013). به‌طورکلی شکستن با روش مکانیکی بیشتر ترجیح داده می‌شود چرا که از آلودگی شیمیایی برای آماده‌سازی جلبک اجتناب‌شده و بسیاری از قابلیت‌های عملکرد مواد سلولی حفظ می‌شود. اولتراسوند[1]، همگنی فشار بالا[2] و هموژن‌سازی[3] سه نوع از روش‌های مکانیکی هستند که به‌طور عمده استفاده می‌شوند (Choi *et al*., 2014; Hoekman *et al*., 2012; Santos *et al*., 2012). روش‌های مکانیکی مانند تنش برشی، نوعی از نیروهای قوی می‌باشند که روی دیوارۀ سلولی صورت‌گرفته که در آنها معمولاً دیواره به‌طور مستقیم تخریب‌شده و قطعه‌قطعه می‌شود. در نتایج گزارش‌شده (Choi *et al*., 2014; Meier, 1955; Morales-Sánchez *et al*., 2013; Santos *et al*., 2012)، بازده شکستن سلول در روش مکانیکی نسبت به سایر روش‌ها نسبتاً بالاست. روش آنزیمی یک روش بیوشیمیایی است که نیاز به انرژی بسیار پایین‌تر از فرایندهای مکانیکی داشته (Islam *et al*., 2013) و انتظار می‌رود که دیوارۀ سلولی جلبک با ازبین‌رفتن پروتئین، سلولز و یا پکتین تضعیف و سست شود. برای بهبود تخریب و شکستن دیوارۀ سلولی جلبک به روش آنزیمی، بایستی از انواع مختلف آنزیم‌ها استفاده شود. سلولاز[4] آنزیمی است که سلولز (در دیوارۀ سلولی وجود دارد) را شکسته و تجزیه می‌کند (Yap *et al*., 2014). سلولازوم[5] ترکیبی از آنزیم‌هاست که سریع‌تر و مؤثرتر از سلولاز عمل می‌کند. در هر ۲ مورد دیواره شکسته می‌شود و روغن و نشاستۀ موجود در سلول آزاد می‌شود (Yap *et al*., 2014). ریزجلبک دونالیلا سالینا[6] یک جلبک سبز تک‌سلولی فاقد دیوارۀ سلولی، متحرک و شوری پسند است که می‌تواند در شوری‌های مختلف (۰/۵ تا ۵/۵ مولار) به رشد خود ادامه دهد (Chen *et al*., 2009; Talebi *et al*., 2013; Thompson, 1994; Vo & Tran, 2014). این ریزجلبک با تولید گلیسرول و تنظیم غلظت یون‌های درون‌سلولی قادر است در شوری‌های بالا به رشد خود ادامه دهد (Talebi *et al*., 2013).

باتوجه‌به اینکه به‌کارگیری فرایندهای ترکیب مکانیکی و آنزیمی در روش‌های شکست دیوارۀ سلول‌های ریزجلبکی دونالیلا سالینا انرژی لازم برای تخریب دیوارۀ سلولی را کاهش می‌دهد، لذا استفاده از ترکیب روش‌های مکانیکی و بیوشیمیایی سرعت و بازدهی فرایند استخراج روغن از سلول‌های ریزجلبکی را افزایش می‌دهند، بنابراین در پژوهش حاضر آزمون گردید اگر آب‌کافت آنزیمی با به‌کارگیری آنزیم‌های سلولاز و پروتئیناز، با هموژن‌سازی یا اولتراسوند ترکیب شود به چه میزان موجب شکستن سلول‌های ریزجلبک شده و درنتیجه تغییر بهره‌وری شکستن سلول‌ها و استخراج اسید چرب به چه میزانی افزایش می‌یابد. ازسوی‌دیگر باتوجه‌به اینکه پروفیل اسید چرب استحصالی در هر نوع حلال با یکدیگر متفاوت می‌باشد بنابراین پروفیل اسید چرب استخراجی در ۳ حلال متفاوت با یکدیگر موردمقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

گونه و شرایط کشت

ریزجلبک دونالیلا سالینا از مجموعۀ محیط کشت جلبک در دانشگاه ارومیه تهیه شد. برای کشت جلبک، از محیط کشت BM[7] تغییریافته با سدیم بی‌کربنات به میزان ۱/۲۵ گرم در لیتر استفاده شد و سپس اسیدیتۀ ابتدایی کشت ۷/۵ تنظیم شد. در مرحلۀ بعد ظروف حاوی محیط کشت جلبک به همراه لوله‌های هوادهی و پنبه‌های کتانی با اتوکلاو استریل شد. سپس ۲۰۰ میلی‌لیتر از ذخیرۀ جلبک دونالیلا سالینا (با غلظت 10^5 سلول در میلی‌لیتر) به محیط کشت‌های جداگانه اضافه گردیده (درنهایت حجم محیط کشت ۱ لیتر تنظیم شد) و در دمای ۲۵ درجۀ سانتی‌گراد و شدت نور ۳۷۰۰ لوکس و در پروتکل

[1] Ultrasonication
[2] High-Homogeneity
[3] Homogenization
[4] Cellulase
[5] Cellulasome
[6] *Dunaliella Salina*
[7] Basal Medium

نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شده (Olofsson *et al*., 2014) و کشت برای یک دورهٔ ۲۱ روزه انجام شد.

برداشت زیست‌توده

برای برداشت زیست‌تودهٔ جلبکی هوادهی برای ۴ ساعت متوقف‌شده و نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۳۰۰×g سانتریفیوژ شد. رسوب جلبک‌ها جمع‌آوری شده و سپس در ۴ تا ۸ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداشته شد (Yap *et al*., 2014).

تخریب دیوارهٔ سلولی به‌وسیلهٔ التراسوند

به زیست‌تودهٔ سلولی ریزجلبک دونالیلا سالینا (۵۰ میلی‌گرم)، ۳ میلی‌لیتر حلال متانول اضافه شد. دیوارهٔ سلول ریزجلبک با دستگاه التراسوند (Sonics، Newtown، CT، ساخت آمریکا) با شرایط ۲۰ کیلوهرتز و دور ۱۰۰ درصد با پاس‌های ۲۰ و ۴۰ ثانیه در مدت زمان کل ۳، ۸ و ۱۳ دقیقه قرار داده شد برای جلوگیری از گرمای ایجادشده در طول تخریب دیوارهٔ سلول با التراسوند نمونه‌ها روی یخ گذاشته شد.

تخریب دیوارهٔ سلولی به‌وسیلهٔ هموژنایزر

زیست‌تودهٔ سلولی ریزجلبک دونالیلا سالینا (۵۰ میلی‌گرم) با ۳ میلی‌لیتر حلال متانول مخلوط‌شده و دیوارهٔ سلول ریزجلبک با دستگاه هموژنایزر (IKA، ساخت آلمان) با سرعت ۷۲۰۰، ۱۱۲۰۰ و ۱۵۶۰۰ دور در دقیقه در مدت زمان ۳ دقیقه هموژن گردید.

شکستن سلول جلبک به‌وسیلهٔ آنزیم

زیست‌تودهٔ سلولی ریزجلبک دونالیلا سالینا (۵۰ میلی‌گرم) با ۳ میلی‌لیتر حلال آب مخلوط شد. نسبت آنزیم سلولاز به زیست‌تودهٔ ریزجلبک ۱ تا ۴ درصد در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت و نسبت آنزیم فلاورزایم به زیست‌تودهٔ ریزجلبک ۰/۵ تا ۲ درصد در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد در مدت زمان ۲ ساعت انتخاب شد (انتخاب میزان دما براساس بازهٔ فعالیت آنزیم‌ها استفاده شده است). سطوح مختلف آنزیم‌های سلولاز و پروتئاز برای تخریب دیوارهٔ سلولی استفاده شدند.

شکستن سلول با ترکیب روش سلولاز، پروتئاز و روش مکانیکی

در این روش سوسپانسیون سلولی جلبکی در غلظت زیست‌توده ۴ گرم در لیتر، ابتدا در معرض فلاورزایم ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد (وزنی/وزنی) برای ۲ ساعت و سپس با سلولاز ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد (وزنی/وزنی) برای ۳ ساعت قرارگرفته و سپس در معرض اولتراسوند با نوسان ۱۰۰ درصد برای ۳، ۸ و ۱۳ دقیقه و یا هموژنیزه با سرعت (۱۱۲۰۰، ۷۲۰۰ و ۱۵۶۰۰) دور در دقیقه قرار داده شد. هر نمونه سوسپانسیون، برای تعیین درجهٔ شکستن و آماده‌شدن برای استخراج لیپید استفاده شد (Yap *et al*., 2014).

استخراج اسید چرب

۱ لیتر سوسپانسیون سلولی ریزجلبکی حاوی ۴ گرم زیست‌توده به‌ترتیب تحت روش‌های اولتراسوند، هموژنیزه‌شدن، آنزیم‌های یادشده یا ترکیب این روش‌ها قرار داده شد و سپس هر سوسپانسیون به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۳۰۰×g، سانتریفیوژ شد و ریزجلبک‌ها ته‌نشین شده، فاز بالایی جداشده و حلال‌ها توسط دستگاه روتاری تبخیر شد و درنهایت چربی استخراج‌شده اندازه‌گیری شد (Yap *et al*., 2014).

شناسایی و اندازه‌گیری اسیدهای چرب موجود در چربی نمونه‌ها

در میان تمام روش‌های کروماتوگرافی، تعیین و تشخیص اسیدهای چرب به‌وسیلهٔ کروماتوگرافی گازی، دقیق‌ترین نتایج را ارائه می‌دهد. کروماتوگرافی گازی یک روش فیزیکی می‌باشد که برای جداسازی، شناسایی و اندازه‌گیری اجزاء فرار به‌کار می‌رود (Song *et al*., 2013) که در این تحقیق نیز از همین روش استفاده شد. برای تفکیک و جداسازی اسیدهای چرب غالباً از استرهای متیلیک آنها استفاده می‌کنند که نقطه‌جوش پایین‌تری دارند (Song *et al*., 2013) جهت متیله‌کردن اسیدهای چرب موجود در روغن‌های به‌دست‌آمده از نمونه‌ها، ابتدا ۰/۱ گرم از روغن مورد آزمایش را با ۳ میلی‌لیتر هپتان نرمال و ۰/۰۵ میلی‌لیتر محلول متانولی هیدروکسید پتاسیم ۲ نرمال

مخلوط‌کرده، محلول را به مدت ۲۰ دقیقه توسط همزن برقی تکان داده، بعد از گذشت این مدت گلیسرول ته‌نشین‌شده و لایهٔ رویی آن همان استرهای متیلی محلول در هپتان می‌باشند. که جهت تعیین نوع اسیدهای چرب و میزان آنها به دستگاه گاز کروماتوگرافی تزریق شدند. مشخصات دستگاه گاز کروماتوگرافی (مدل GC-1000، DANI، ساخت ایتالیا) به‌کاربرده‌شده، بدین قرار می‌باشد: گاز حامل نیتروژن، فشار گاز ۰/۷۶ بار و شدت‌جریان آن دقیقه ۲/۱ میلی‌لیتر در این تحقیق از ستون کاپیلاری، EC-۱۰۰۰ با ماهیت قطبی از جنس شیشه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌لیتر که ضخامت فاز ساکن آن ۰/۲۵ میکرومتر بود، استفاده شد. دمای قسمت تزریق ۲۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد، آشکارساز ۲ با سوخت هیدروژن و اکسیداسیون هوا که فشار یونیزاسیون شعله‌ای آن ۰/۷۵ بار و فشار هوای فشرده ۱ بار بود. پس از تزریق هر نمونه به دستگاه گاز کروماتوگرافی، منحنی‌های رسم‌شده و زمان بازداری مربوط به هر اسید چرب با منحنی مربوط به اسید چرب استاندارد و زمان بازداری آن مقایسه گردید. که به‌این‌ترتیب نوع و میزان اسیدهای چرب موجود در نمونه‌های مورد آزمایش مشخص شدند (Song *et al*., 2013).

روش‌های آماری

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام‌شده و آزمایش‌ها در ۳ تکرار صورت گرفت. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۹ انجام شد. داده‌های مختلف به‌صورت میانگین ± انحراف معیار بیان شد. تفاوت بین میانگین‌ها توسط آنالیز واریانس دوطرفه انجام و درصورت وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها، از آزمون دانکن در سطح ($P<۰/۰۵$) استفاده شد.

نتایج و بحث

تخریب دیوارهٔ سلولی با التراسوند

میزان روغن استخراج‌شده توسط شکستن دیوارهٔ سلولی ریزجلبک با التراسوند در ۳ زمان مختلف با یکدیگر متفاوت و دارای اختلاف معنی‌دار آماری است ($P<۰/۰۵$). بیشترین میزان روغن استخراجی ۰/۶۱۳±۰/۰۰۷ گرم در لیتر مربوط به شکستن دیوارهٔ سلولی در مدت زمان ۳ دقیقه و کمترین میزان ۰/۴۹۳±۰/۰۲۵ گرم در لیتر مربوط به دقیقهٔ ۱۳ می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱ - تخریب دیوارهٔ سلولی ریزجلبک دونالیلا سالینا با التراسوند

زمان (دقیقه)	دامنهٔ نوسان (درصد)	روغن استخراجی (گرم بر لیتر)
۳	۱۰۰	۰/۶۱۳±۰/۰۰۷[a]
۸	۱۰۰	۰/۵۷۸±۰/۰۴۲[b]
۱۳	۱۰۰	۰/۴۹۳±۰/۰۲۵[c]

حروف بالانویس کوچک انگلیسی متفاوت در ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد.

تخریب دیوارهٔ سلولی به‌وسیلهٔ هموژنایزر

در طول انجام آزمایش‌ها در این مطالعه مشاهده گردید که میزان روغن استخراج‌شده توسط شکستن دیوارهٔ سلولی ریزجلبک با سرعت‌های مختلف هموژنایزر در سرعت‌های مختلف با یکدیگر متفاوت و دارای اختلاف معنی‌دار آماری است ($P<۰/۰۵$). به‌طوری‌که بیشترین میزان روغن استخراجی ۱/۲۱±۰/۰۳۷ گرم در لیتر مربوط به شکستن دیوارهٔ سلولی با سرعت ۷۲۰۰ دور در دقیقه و کمترین میزان ۰/۹۷۳±۰/۰۳۹ گرم در لیتر با سرعت ۱۵۶۰۰ دور در دقیقه می‌باشد (جدول ۲).

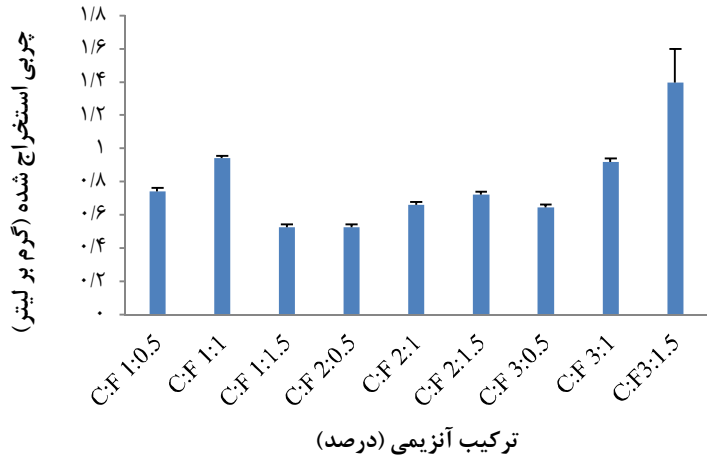
جدول ۲ - تخریب دیوارهٔ سلولی ریزجلبک دونالیلا سالینا با هموژنایزر

زمان (دقیقه)	سرعت (دور در دقیقه)	روغن استخراجی (گرم بر لیتر)
۳	۷۲۰۰	۱/۲۱±۰/۰۳۷[a]
۳	۱۱۲۰۰	۱/۱۶۳±۰/۰۴[b]
۳	۱۵۶۰۰	۰/۹۷۳±۰/۰۳۹[c]

حروف بالانویس کوچک انگلیسی متفاوت در ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد.

تخریب دیوارهٔ سلولی به‌وسیلهٔ آنزیم

نتایج میزان روغن استخراجی با تخریب دیواره به‌وسیلهٔ آنزیم‌ها نشان داد که بیشترین میزان روغن استخراجی با سطح سلولاز ۳ درصد و فلورزایم ۱/۵ درصد برابر ۰/۰۲۶۴±۲/۰۴ گرم بر لیتر برحسب وزن خشک جلبک و کمترین میزان مربوط به سطح سلولاز ۱ درصد و فلورزایم ۱ درصد برابر ۰/۰۷۳۷±۰/۷۳۳ گرم بر لیتر برحسب وزن خشک جلبک می‌باشد (شکل ۱).

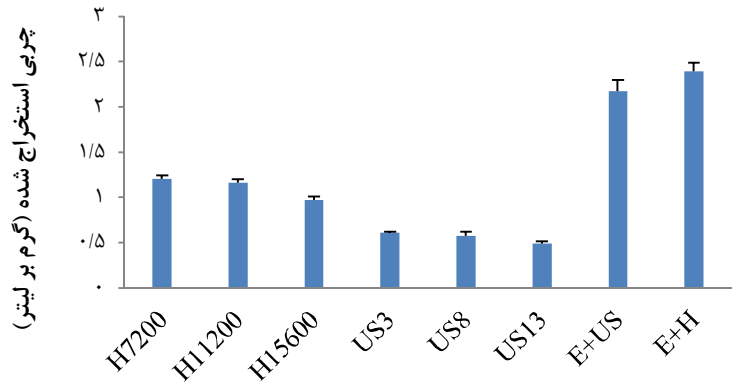


شکل ۱ - مقایسهٔ ترکیب کاربرد سطوح مختلف آنزیم سلولاز و پروتئاز و میزان روغن استخراجی از ریزجلبک دونالیلا سالینا

C: سلولاز ، F: فلورزایم

مقایسهٔ روش‌های استخراج چربی

۳ روش به‌منظور یافتن مؤثرترین روش تخریب و هضم دیوارهٔ سلولی و استخراج چربی از ریزجلبک دونالیلا سالینا موردبررسی قرار گرفت. اثربخشی تخریب دیوارهٔ سلولی با میزان چربی کل استخراج‌شده سنجیده شد. تخریب دیوارهٔ سلولی باعث دسترسی بهتر به اجزاء درون سلول می‌گردد (Gordillo *et al.*, 1998). شکل (۲) درصد کل چربی استخراج‌شده به‌وسیلهٔ روش‌های مختلف تخریب دیوارهٔ سلولی را نشان می‌دهد. تمام روش‌های تخریب دیوارهٔ سلولی مورداستفاده در این پژوهش نشان‌دهندهٔ شکست دیوارهٔ سلولی ریزجلبک دونالیلا سالینا بوده اگرچه میزان استخراج روغن تولیدی به‌وسیلهٔ هرکدام از روش‌ها متغیر است.



شکل ۲ - روش‌های مختلف تخریب دیوارهٔ سلولی ریزجلبک دونالیلا سالینا و استخراج چربی

H: هموژنایزر، US: التراسوند، E: آنزیم

در شکل (۲) نتایج نشان داد روش التراسوند کمترین و ترکیب روش‌های آنزیمی و هموژنایزر بیشترین میزان تخریب دیوارۀ سلولی و استخراج چربی از ریزجلبک می‌باشند که مطالعه‌های مشابهی برای تخریب دیوارۀ سلولی و استخراج چربی از ریزجلبک دونالیلا سالینا انجام شده است.

Zhang و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی میزان تخریب دیوارۀ سلولی و استخراج لیپید از ریزجلبک دونالیلا سالینا با روش‌های مختلف پرداختند و گزارش کردند که میزان استخراج لیپید با روش التراسوند ۲۶ درصد، روش بیولوژیکی ۲۲ درصد، هموژنایزر ۱۷ درصد و روش انجمادسازی ۱۰ درصد بود. که روش التراسوند و بیولوژیکی جهت تخریب دیوارۀ سلول‌های دونالیلا سالینا نسبت به سایر روش‌ها بهتر و ازنظر مصرف کمتر انرژی روش بیولوژیکی توان بالقوه‌ای جهت تولید لیپید در مقیاس بزرگ کاربردی است (Zhang *et al*., 2016).

Qv و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی میزان لیپید استخراجی از ریزجلبک دونالیلا سالینا با تخریب دیوارۀ سلولی با روش‌های التراسوند و مایکروویو پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان لیپید استخراجی با التراسوند ۴۵/۹۴ درصد و مایکروویو ۵۷/۰۲ درصد و ترکیب دو روش ۴۹/۹۷ درصد بود (Qv *et al*., 2014).

Günerken و همکاران (۲۰۱۵)، با بررسی اثر انواع روش‌های مکانیکی بر شکست دیوارۀ سلولی میکروجلبک‌ها به این نتیجه رسیدند که امواج فراصوت‌شده بهره‌وری زیادی در شکستن سلول نداشته و علاوه‌برآن انرژی زیادی نیز مصرف می‌کنند (Günerken *et al*., 2015). همچنین Meier و همکاران (۱۹۵۵) با مقایسۀ شکستن سلول نانوکلر.پسیس اکلاتا[1]، با روش مایکروویو، حمام آب، مخلوط‌کن، فراصوت و لیزر، نشان دادند که کمترین بهره‌وری در شکستن سلول مربوط به امواج فراصوت ۱/۶۶±۰/۹۷ درصد با مصرف انرژی ۱۳۲ میلی‌ژول در لیتر در غلظت $۱/۸\times۱۰^{۸}$ سلول در میلی‌لیتر بود (Meier, 1955). استفاده از ترکیب روش‌های آنزیمی و هموژنایزر در تخریب دیوارۀ سلولی بیشترین درصد چربی استخراج‌شده (۹۴/۳۳ درصد) نسبت به کاربرد هرکدام از روش‌های تخریب دیوارۀ سلولی به تنهایی را به همراه داشته است ازطرفی Jin و همکاران (۲۰۱۲) و Taher و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر انواع روش‌ها بر شکست دیوارۀ سلولی ریزجلبک‌ها به این نتیجه رسیدند که روش آنزیمی اثر بالایی بر تخریب سلول‌ها نداشت. همچنین دریافتند که با استفادۀ آنزیم به‌طور جداگانه، چربی کمی استخراج شد؛ یعنی بیشتر از ۴۹ درصد چربی به‌دست نیامد (Jin *et al*., 2012, Taher *et al*., 2014).

ترکیبات اسیدهای چرب روغن استخراجی

پروفیل اسیدهای چرب روغن استخراجی با حلال‌های متفاوت (آب، اتانول و متانول) که با دستگاه GC (ساخت آمریکا) شناسایی‌شده بود در جدول (۳) نشان داده شده است. اسیدهای چرب غالب، پالمیتیک اسید[2] (C16:0) اولئیک اسید[3] (C18:1) لینولئیک اسید[4] (C18:2) لینولنیک اسید[5] (C18:3) هستند که ۸۰ درصد کل اسیدهای چرب را شامل می‌شوند. سایر اسیدهای چرب مثل پالمیتولنیک اسید[6] (C16:1) و آراشیدیک[7] (C20:0) درصد کمی را شامل می‌شوند. اسیدهای چرب شناسایی‌شده در این پژوهش مشابه با گزارش El-Baky و همکاران (۲۰۰۴) بود. اگرچه نسبت برخی از اسیدهای چرب مثل C18:2 استخراج‌شده با حلال‌های مختلف متفاوت می‌باشد. به‌عنوان‌مثال زمانی که از حلال اتانول جهت استخراج استفاده می‌شود میزان اسیدهای چرب C18:1، C18:2 و C18:3 افزایش می‌یابد (جدول ۳). به‌طورکلی حلال اتانول بیشتر اسیدهای چرب اشباع، حلال آب اسیدهای چرب تک‌زنجیرۀ غیراشباع و حلال متانول اسیدهای چرب چندزنجیرۀ غیراشباع را استخراج می‌کند. اگر بتوان اسیدهای چرب امگا-۳ بخصوص دکوزاهگزانوئیک اسید[8] (DHA) را از سایر اسیدهای چرب ریزجلبک دونالیلا سالینا جدا نمود باتوجه‌به ارزش اقتصادی آن به‌عنوان یک فراوردۀ زیست‌فعال می‌توان هزینه‌های تولید را تا حدودی کاهش داد (Salama *et al*., 2013; Society & Firestone, 1994).

[1] *Nannochloropsis Oculata*

[2] Palmitic Acid
[3] Oleic Acid
[4] Linoleic Acid
[5] Linolenic Acid
[6] Palmitoleic Acid
[7] Arachidic Acid
[8] Docosahexaenoic Acid

جدول ۳ - پروفیل اسیدهای چرب روغن استخراجی با حلال‌های متفاوت در ریزجلبک دونالیلا سالینا

اسید چرب		حلال‌ها		
		اتانول	متانول	آب
اشباع	C16:0	۱/۰۷۹	۱/۹۵۴	۳/۴۳۴
	C18:0	۲/۰۹۶	۰/۴۹۲	۰
	C20:0	۴/۳۷۹	۲/۶۹۴	۱۲/۹۱۷
غیر اشباع	C16:1	۱۱/۶۷۲	۰/۶۶۶	۱/۸۳۲
	C18:1	۸/۲۲۰	۰/۱۴۵	۱۲/۳۰۰
	C18:2	۵/۱۸۳	۰/۱۲۶	۳/۱۸۶
	C18:3	۲۰/۲۷۶	۰/۱۵۵	۱/۹۶۲
	C20:1	۸/۱۰۷	۰/۵۴۲	۰
	C20:2	۳/۸۸۵	۲/۰۳۷	۲۲/۰۸۸
	C20:3	۰	۰/۴۰۹	۰/۸۴۲
	C20:4	۲/۲۹۰	۰/۸۴۳	۵/۴۴۳
	C20:5	۱/۰۷۹	۰/۳۳۴	۰
	C22:6	۲/۰۹۶	۶/۰۸۵	۰
	C24:1	۴/۳۷۹	۶۴/۹۴۹	۰

در بین روش‌های مکانیکی، کارایی هموژنایزر به‌عنوان یک روش مناسب در مقیاس صنعتی، توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است (Chisti & Moo-Young, 1986). دراین‌ارتباط، نتایج نشان از کارایی بالای این روش در ریزجلبک دونالیلا سالینا داشت، به‌طوری‌که پس از ترکیب روش‌های مکانیکی و آنزیمی بیشترین استخراج لیپید توسط ترکیب این روش‌ها صورت گرفت. به‌طورکلی روش استخراج یک نکتهٔ کلیدی در به‌دست‌آمدن حداکثر پروتئین و چربی از جلبک‌ها می‌باشد. درهمین‌ارتباط قابل ذکر است که روش‌های شیمیایی همانند تیمار با اسید و باز، باوجود کارایی زیاد جهت تجزیهٔ دیوارهٔ سلولی برای استخراج محصولات حساسی همچون پروتئین‌ها مناسب نمی‌باشد. بااین‌وجود تیمار قلیایی می‌تواند برای جداکردن اسیدهای چرب آزاد مورداستفاده قرار گیرد. حلال‌های آلی مانند هگزان، اتانول، کلروفرم و دی‌اتیل اتر با تخریب غشای پلاسمایی می‌توانند تا حدودی سلول را متلاشی کنند. این روش به‌طور گسترده برای استخراج متابولیت‌هایی مانند آستاگزانتین، بتاکاروتن و اسیدهای چرب استفاده می‌گردد (Grima *et al*., 2003). دراین‌مورد، مخلوطی از هگزان و اتانول ۹۶ درصد روی بیومس لیوفیلیزشده اعمال می‌شود. بااین‌وجود، اگرچه با این روش می‌توان لیپیدها را استخراج کرد، ولی ترکیبات دیگری همچون قندها، اسیدهای آمینه، نمک‌ها، پروتئین‌های هیدروفوب و رنگدانه‌ها نیز به‌صورت ناخواسته وارد فاز آلی می‌گردند (Cravotto *et al*., 2008). از دیگر عوامل مهم دربارهٔ شیوهٔ تخریب سلول، ابعاد کار است، که بنابر مقیاسی که موردنظر است، تجاری یا آزمایشگاهی، روش نیز تغییر می‌کند. همچنین باوجود کارایی زیاد امواج التراسونیک در برخی از گونه‌های باکتریایی و یا جلبکی، از این روش تنها می‌توان برای شکستن سلول در مقادیر کم بیومس استفاده کرد، درحالی‌که در مقیاس وسیع کاربردی نمی‌باشد (Grima *et al*., 2003). پس از کشت و تولید انبوه میکروارگانیسم‌ها جهت مقاصد تجاری، در راستای فراوری بیوماس حاصله برای استحصال ترکیبات درون سلولی، مهم‌ترین مسئله انتخاب یک روش مناسب برای شکستن سلول‌ها می‌باشد. اغلب روش‌هایی که دراین‌مورد برای باکتری‌ها استفاده می‌شود را می‌توان برای ریزجلبک‌ها نیز اعمال نمود (Grima *et al*., 2003). به‌طورکلی در مقیاس صنعتی روش‌های مکانیکی برای شکستن سلول کارایی بیشتری داشته و مقرون‌به‌صرفه هستند. روش‌های آنزیمی و شیمیایی بیشتر در مقیاس آزمایشگاهی کاربرد دارند. استفاده از چندین روش به‌صورت توأم نیز می‌تواند مفید باشد (Chisti & Moo-Young, 1986; Kula & Schütte, 1987). در پژوهشی دیگر Wang و همکاران (۲۰۱۵)

طی بررسی انواع روش‌های تخریب دیوارۀ سلولی از قبیل اولتراسوند، همگن‌سازی تحت‌فشار بالا، هیدرولیز آنزیمی و ترکیب هیدرولیز آنزیمی با هموژنایزر تحت‌فشار بالا و اولتراسوند در ریزجلبک نئوکلریس اولئوابوندنس[1] به این نتیجه رسیدند که بالاترین درجۀ شکستن دیواره بالای ۹۴/۴۱ درصد بود که با استفاده از روش ترکیب هیدرولیز آنزیمی و هموژنایزر با فشار بالا به‌دست آمد. با استفاده از ترکیب این روش‌ها، ۶۳/۹۲ درصد از چربی‌های درون سلول استحصال شد و بیان کردند که ترکیب این روش‌ها کارآمدتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر از کاربرد این روش‌ها به‌صورت انفرادی است (Wang *et al*., 2015).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج می‌توان بیان نمود که درخصوص شکستن دیوارۀ سلولی ریزجلبک دونالیلا سالینا روش آنزیمی با سطح سلولاز ۳ درصد و فلورزایم ۱/۵ درصد بیشترین کارایی و سطح سلولاز ۱ درصد و فلورزایم ۱ درصد کمترین کارایی را دارد. ازسویی در روش التراسوند بیشترین میزان روغن استحصالی مربوط به شکستن دیوارۀ سلولی در مدت زمان ۳ دقیقه و کمترین مربوط به زمان ۱۳ دقیقه بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش کارآمدترین روش برای تخریب دیوارۀ سلولی ترکیب روش‌های آنزیمی و هموژنایزر بوده بهترین حلال برای استخراج چربی اتانول می‌باشد.

منابع

1- Azachi, M., Sadka, A., Fisher, M., Goldshlag, P., Gokhman, I., & Zamir, A. 2002. Salt induction of fatty acid elongase and membrane lipid modifications in the extreme halotolerant alga *Dunaliella salina*. Plant physiology, 129(3):1320-1329.

2- Bai, X., Naghdi, F.G., Ye, L., Lant, P., & Pratt, S. 2014. Enhanced lipid extraction from algae using free nitrous acid pretreatment. Bioresource technology, 159:36-40.

3- Chen, H., Jiang, J-G., & Wu, G-H. 2009. Effects of salinity changes on the growth of *Dunaliella salina* and its isozyme activities of glycerol-3-phosphate dehydrogenase. Journal of agricultural and food chemistry, 57(14):6178-6182.

4- Chisti, Y., & Moo-Young, M. 1986. Disruption of microbial cells for intracellular products. Enzyme and Microbial Technology, 8(4):194-204.

5- Choi, S-A., Jung, J-Y., Kim, K., Lee, J-S., Kwon, J-H., Kim, S.W., Yang, J-W., & Park, J-Y. 2014. Acid-catalyzed hot-water extraction of docosahexaenoic acid (DHA)-rich lipids from *Aurantiochytrium* sp. KRS101. Bioresource technology, 161:469-472.

6- Cravotto, G., Boffa, L., Mantegna, S., Perego, P., Avogadro, M., & Cintas, P. 2008. Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves. Ultrasonics sonochemistry, 15(5):898-902.

7- El-Baky, H.H.A., El-Baz, F.K., & El-Baroty, G.S. 2004. Production of lipids rich in omega 3 fatty acids from the halotolerant alga *Dunaliella salina*. Biotechnology, 3(1):102-108.

8- Gordillo, F.J., Goutx, M., Figueroa, F.L., & Niell, F.X. 1998. Effects of light intensity, CO_2 and nitrogen supply on lipid class composition of *Dunaliella viridis*. Journal of Applied Phycology, 10(2):135-144.

9- Grima, E.M., Belarbi, E.-H., Fernández, F.A., Medina, A.R., & Chisti, Y. 2003. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. Biotechnology advances, 20(7-8):491-515.

10- Günerken, E., D'Hondt, E., Eppink, M ,.Garcia-Gonzalez, L., Elst, K., & Wijffels, R. 2015. Cell disruption for microalgae biorefineries. Biotechnology advances, 33(2):243-260.

11- Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Ceniceros, E., & Natarajan, M. 2012. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16:143-169.

12- Islam, M.A., Magnusson, M., Brown, R.J., Ayoko, G.A., Nabi, M.N., & Heimann, K. 2013. Microalgal species selection for biodiesel production based on fuel properties derived from fatty acid profiles. Energies, 6(11):5676-5702.

13- Jin, G., Yang, F., Hu, C., Shen, H., & Zhao, Z.K. 2012. Enzyme-assisted extraction of lipids directly from the culture of the oleaginous yeast *Rhodosporidium toruloides*. Bioresource technology, 111:378-382.

[1] Neochloris Oleoabundans

14- Kula, M.R. & Schütte, H. 1987. Purification of proteins and the disruption of microbial cells. Biotechnology Progress, 3(1):31-42.

15- Lee, S.-Y., Kim, S.-H., Hyun, S.-H., Suh, H.W., Hong, S.-J., Cho, B.-K., Lee, C.-G., Lee, H., & Choi, H.-K. 2014. Fatty acids and global metabolites profiling of *Dunaliella tertiolecta* by shifting culture conditions to nitrate deficiency and high light at different growth phases. Process Biochemistry, 49(6):996-1004.

16- McMillan, J.R., Watson, I.A., Ali, M., & Jaafar, W. 2013. Evaluation and comparison of algal cell disruption methods: microwave, waterbath, blender, ultrasonic and laser treatment. Applied Energy, 103:128-134.

17- Meier, R.L. 1955. Biological cycles in the transformation of solar energy into useful fuels. Solar energy research, 23:179-183.

18- Morales-Sánchez, D., Tinoco-Valencia, R., Kyndt, J. & Martinez, A. 2013. Heterotrophic growth of Neochloris oleoabundans using glucose as a carbon source. Biotechnology for Biofuels, 6(1):100

19- Nascimento, I.A., Marques, S.S.I., Cabanelas, I.T.D., Pereira, S.A., Druzian, J.I., De Souza, C.O., Vich, D.V., De Carvalho, G.C., & Nascimento, M.A. 2013. Screening microalgae strains for biodiesel production: lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. Bioenergy Research, 6(1):1-13.

20- Niu, J-F., Wang, G-C., & Tseng, C-K. 2006. Method for large-scale isolation and purification of R-phycoerythrin from red alga *Polysiphonia urceolata* Grev. Protein Expression and Purification, 49(1):23-31.

21- Olofsson, M., Lamela, T., Nilsson, E., Bergé, J-P., Del Pino, V., Uronen, P., & Legrand, C. 2014. Combined effects of nitrogen concentration and seasonal changes on the production of lipids in *Nannochloropsis oculata*. Marine drugs 12(4):1891-1910.

22- Peterson, C., Wagner, G., & Auld, D. 1983. Vegetable oil substitutes for diesel fuel. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 26:322-0327.

23- Qv, X.Y., Zhou, Q.F., & Jiang, J.G. 2014. Ultrasound-enhanced and microwave-assisted extraction of lipid from *Dunaliella tertiolecta* and fatty acid profile analysis. Journal of Separation Science, 37(20):2991-2999.

24- Salama, E-S., Kim, H-C., Abou-Shanab, R.A., Ji, M.-K., Oh, Y-K., Kim, S-H., & Jeon, B-H. 2013. Biomass, lipid content, and fatty acid composition of freshwater *Chlamydomonas mexicana* and *Scenedesmus obliquus* grown under salt stress. Bioprocess and Biosystems Engineering, 36(6):827-833.

25- Santos, A., Janssen, M., Lamers, P., Evers, W., & Wijffels, R. 2012. Growth of oil accumulating microalga *Neochloris oleoabundans* under alkaline–saline conditions. Bioresource Technology, 104:593-599.

26- Society, A.O.C., & Firestone, D. 1994. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. American Oil Chemists' Society press.

27- Song, M., Pei, H., Hu, W., & Ma, G. 2013. Evaluation of the potential of 10 microalgal strains for biodiesel production. Bioresource Technology, 141:245-251.

28- Talebi, A.F., Mohtashami, S.K., Tabatabaei, M., Tohidfar, M., Bagheri, A., Zeinalabedini, M., Mirzaei, H.H., Mirzajanzadeh, M., Shafaroudi, S.M., & Bakhtiari, S. 2013. Fatty acids profiling: a selective criterion for screening microalgae strains for biodiesel production. Algal Research, 2:258-267.

29- Taher, H., Al-Zuhair, S., Al-Marzouqi, A.H., Haik, Y., & Farid, M. 2014. Effective extraction of microalgae lipids from wet biomass for biodiesel production. Biomass and bioenergy, 66:159-167.

30- Thompson, G.A. 1994. Mechanisms of osmoregulation in the green alga Dunaliella salina. Journal of Experimental Zoology, 268(2):127-132.

31- Vo, T., & Tran, D. 2014. Effects of salinity and light on growth of *Dunaliella* isolates. Journal of Applied & Environmental Microbiology, 2(5):208-211.

32- Wang, D., Li, Y., Hu, X., Su, W. & Zhong, M. 2015. Combined enzymatic and mechanical cell disruption and lipid extraction of green alga *Neochloris oleoabundans*. International Journal of Molecular Sciences, 16(4):7707-7722.

33- Yap, B.H., Crawford, S.A., Dumsday, G.J., Scales, P.J., & Martin, G.J. 2014. A mechanistic study of algal cell disruption and its effect on lipid recovery by solvent extraction. Algal Research, 5:112-120.

34- Zhang, Y., Deng, C., Cui, Y., & Cheng, J. 2016. Effect of different methods on cell disruption and oil extraction of microalgae. China Oils and Fats, 41(3):61-65.

Comparison of Different Cell-wall Disruption and Fatty Acid Extraction from *Dunaliella Salina* Microalgae

Farzaneh Mehrabi[1], Seyed Ali Jafarpour[2*], Ghorban-Ali Nematzadeh[3]

1- PhD. Student, Fisheries Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Associate Professor, Fisheries Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
* Corresponding author (a.jafarpour@sanru.ac.ir)
3- Professor, Plant Breeding and Biotechnology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Abstract

As extracted oil from microalgae is highly affected by selected cell-wall breaking method and type of the solvent used, thus an appropriate choice matters in which it might affect the quantity. This study was conducted to determine the most effective method on *Dunaliella salina* microalga cell disruption and solvent by comparing several methods. According to the results, the most efficient technique for oil extraction from *Dunaliella salina* microalgae was recorded as combination of enzymatic and homogenization methods (2.26±0.02 g.L-1), followed by enzymatic method with 3% cellulose and 1.5% flavourzyme (2.04±0.02 g.L-1), and finally ultrasonication (1.61±0.00 g.L-1). Based on the fatty acid profile, C16:0, C18:1 and C18:2 fatty acids were recorded as the main constituents ethanol was the most effective solvent by extraction of 8.22%, 1.07% and 5.18% of above mentioned fatty acids. Furthermore, present results demonstrated that in order to efficiently extract lipid from *Dunaliella salina*, enzymatic and homogenization methods exhibited the most efficient technique for cell disruption.

Keywords: Cell Destruction, *Dunaliella Salina*, Homogenization, Lipid Extraction

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۱۹۶-۱۷۷

JRIFST

بررسی میزان برشته‌کردن بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، عملکردی، جریان‌پذیری، آنتی‌اکسیدانی و حسی آرد سویای برشته‌شده به‌عنوان جایگزین کاکائو

الهام زایرزاده[۱]، مصطفی مظاهری طهرانی[۲*]، سمیرا یگانه‌زاد[۳]، محبت محبی[۲]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (mmtehrani@um.ac.ir)
۳- استادیار، گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹

واژه‌های کلیدی
ارزیابی حسی
آرد سویا
برشته‌کردن
جایگزین کاکائو
خواص فیزیکی

چکیده

باتوجه‌به اهمیت یافتن جایگزین‌های مناسب برای پودرکاکائو، ترکیب شیمیایی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی، خصوصیات فیزیکی و جریان‌پذیری (زاویهٔ ریپوز، ضریب هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار)، همچنین ویژگی‌های حرارتی، آنتی‌اکسیدانی و حسی آرد سویای برشته‌شده در فرایند حرارتی دانه‌های سویا در دمای ۱۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد، در زمان‌های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه بررسی شد. مقادیر عناصر کلسیم، سدیم، آهن، روی، منگنز، مس و منیزیم با اعمال فرایند برشته‌کردن در نمونه‌ها افزایش نشان داد. با افزایش زمان برشته‌کردن، زاویهٔ ریپوز در نمونه‌ها کاهش نشان داد. ضریب هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار به‌ترتیب در نمونهٔ آرد خام سویا ۱/۵۱ و ۳۳/۳۳ بود و پس از برشته‌کردن به ۱/۴۰ و ۲۸/۷۳ کاهش یافت. پژوهش نشان داد آرد سویا دارای جریان‌پذیری نسبتاً ضعیفی است و در محدودهٔ پودرهای روان قرار نمی‌گیرد. پارامتر رنگی L* که به‌عنوان شاخص دما ـ زمان در فرایند برشته‌کردن مواد غذایی (نظیر قهوه و کاکائو) مورداستفاده قرار می‌گیرد، با افزایش زمان کاهش یافت. نتایج حاصل از بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان داد که با افزایش زمان، فعالیت ضدرادیکالی و مقدار فنول کل در نمونه‌ها افزایش یافت و همبستگی معنی‌داری بین میزان فنول و فعالیت ضدرادیکالی مشاهده گردید ($P<۰/۰۵$). تجزیه‌وتحلیل حرارتی نمونه نشان‌دهندهٔ پایداری حرارتی بالای آرد سویای برشته می‌باشد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد نمونهٔ آرد برشته‌شده برای ۸ دقیقه را به لحاظ پذیرش کلی، قابل مقایسه با پودر کاکائو می‌باشد.

مقدمه

طبق گزارش‌های منتشرشده ازسوی سازمان جهانی کاکائو[۱] و مؤسسه بین‌المللی کاکائو[۲] در سال ۲۰۱۴، تغییرات الگوهای جوی در سال‌های اخیر باعث عدم ثبات در تولید محصول کاکائو گردیده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ تقاضا بر عرضه پیشی‌گرفته و

[1] World Cocoa Foundation

[2] International Cocoa Organization (ICCO)

بحرانی در عرضهٔ این محصول و صنایع تولیدی وابسته و در رأس آن تولید شکلات به وقوع بیانجامد (ICCO, 2014; WCF, 2014). بدیهی است در این شرایط، یکی از راه‌های مقابله با این بحران، معرفی و کاربرد محصولات جایگزین می‌باشد. پودر برشته‌شدهٔ لوبیای خرنوب[1]، ظاهر و عطروطعمی نزدیک به کاکائو و شکلات داشته و درحال‌حاضر در فروشگاه‌های آمریکا و کشورهای غربی به‌عنوان ترکیب جایگزین یا حجم‌دهندهٔ کاکائو به فروش می‌رسد. Yousif و Alghzawi (۲۰۰۰)، شرایط فرایند و خصوصیات حسی این پودر را موردمطالعه قرار دادند (Yousif & Alghzawi, 2000). همچنین Sahin و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهشی اثر فرایند برشته‌کردن بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، فنولی و قهوه‌ای‌شدن پودر خرنوب را بررسی نمود (Sahin *et al.*, 2009). در بسیاری از کشورهای عربی از پودر خرنوب برای تهیهٔ نوشیدنی مخصوص ماه رمضان و انواع شیرینی‌های سنتی عربی استفاده می‌کنند (Mhaisen, 1991). در ترکیه از این پودر برای تهیهٔ نوشیدنی داغ استفاده می‌شود، شرایط آماده‌سازی مشابه قهوه است (Sahin *et al.*, 2009). از دیگر محصولات قابل‌جایگزین می‌توان به آرد سویای برشته‌شده اشاره کرد که از قدیم در کشورهایی نظیر اسپانیا و ایتالیا به‌صورت‌های مختلف مورداستفاده بوده است (Kim *et al.*, 2011). کاربرد این ترکیبات جایگزین، امکان تولید محصولات فاقد کافئین[2] و تئوبرومین[3] را میسر می‌سازد (Macleod & Forcen, 1992; Petit & Pinilla, 1995; Kumazawa *et al.*, 2002; Yousif & Alghzawi, 2000).

سویا با نام علمی *گلایسینماکس*[4] به‌عنوان یک منبع غذایی با اهمیت، در دنیا در سطح وسیعی کشت‌شده و به‌صورت‌های مختلفی ازجمله استفادهٔ مستقیم از دانه یا به‌صورت محصولات فراوری‌شده مورداستفاده قرار می‌گیرد. دانهٔ سویا منبع غنی از پروتئین و چربی عمدتاً غیراشباع است (Kim *et al.*, 2005). این دانهٔ خوراکی دارای الیگوساکاریدها، ایزوفلاون‌ها[5]، فیتات‌ها[6]، ساپونین‌ها[7] و ترکیبات فنولی می‌باشد و توانایی پیشگیری از ابتلا به بیماری‌هایی ازقبیل چاقی، دیابت و سرطان را داراست (Díaz-Batalla *et al.*, 2006; Anderson & Major, 2002; Bhathena & Velasquez, 2002; Arjmandi & Smith, 2002).

اعمال فرایندهای حرارتی نظیر برشته‌کردن بر مواد غذایی ازجمله دانه‌ها، مغزها، میوه‌ها و سبزی‌ها منجربه ایجاد تغییرات فیزیکوشیمیایی، تغییر در ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای همچون بهبود رنگ، طعم و فعالیت آنتی‌اکسیدانی درنتیجهٔ تولید ترکیبات حاصل از واکنش میلارد در این محصولات می‌گردد (Nicoli *et al.*, 1999; Lee & Lee, 2009; Borrelli *et al.*, 2002; del Castillo *et al.*, 2002). علاوه‌بر این، در طب سنتی چین از فرایند برشته‌کردن به‌منظور بهبود عملکرد درمانی و یا کاهش اثرات جانبی نامطلوب استفاده می‌کنند (Chen *et al.*, 2004). بررسی تأثیر فرایندهایی ازجمله برشته‌کردن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمایی، عملکردی و تغذیه‌ای مواد غذایی ازنظر مشخص‌کردن شرایط بهینهٔ فرایند حائز اهمیت است. تاکنون پژوهش‌های زیادی درمورد بررسی اثر فرایندهای حرارتی مختلف ازجمله برشته‌کردن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی دانه‌های مختلف نظیر لوبیای سویای سیاه کوچک[8]، مغز فندق، دانهٔ قهوه، دانهٔ ذرت و غیره انجام شده است (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2011; Nicoli *et al.*, 1997; Dewanto *et al.*, 2002; Turan *et al.*, 2015; Lemos *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2010). دربارهٔ لوبیای سویای کره‌ای[9]، Lee و همکاران (۲۰۰۹، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵)، پژوهش‌های متعددی را روی خواص آنتی‌اکسیدانی و خواص حسی طی برشته‌کردن به انجام رسانده‌اند (Lee *et al.*, 2009; 2013; 2015).

براساس منابع موجود، امروزه بالغ بر ۵۰ درصد مواد اولیهٔ خام مورداستفاده در صنایع و کارخانه‌ها به

[1] Carob
[2] Caffeine
[3] Theobromine
[4] *Glycinemax*
[5] Isoflavone
[6] Phytate
[7] Saponin
[8] *Small Black Soybean*
[9] *Korean Soybean*

شکل پودر است. با افزایش تنوع و حجم مصرفی پودرهای مورداستفاده در صنایع مختلف، شناخت ویژگی‌های موردنیاز آنها طی فرایند، حمل‌ونقل و جابجایی خصوصاً در صنعت غذا به‌عنوان یک ضرورت مطرح می‌گردد. بررسی خصوصیات فیزیکی پودرها منجربه شناخت رفتار آنها در مراحل مختلف فراوری، ذخیره، بسته‌بندی و حمل‌ونقل می‌شود (Teunou *et al.*, 1999)؛ که درنتیجه، این شناخت به ما توانایی کاهش هزینه‌ها، پیشنهاد فرمولاسیون بهتر، بهینه‌یابی شرایط ذخیره، بسته‌بندی، جابجایی و حمل‌ونقل محصول را خواهد بخشید (De Freitas Eduardo & da Silva Lannes, 2007). هر چقدر دانش ما پیرامون ویژگی‌های فیزیکی پودرها افزایش یابد، به همان میزان در کنترل فرایند و کیفیت نهایی محصول موفق‌تر عمل خواهیم کرد (Alvarado & Aguilera, 2001).

در میان پژوهش‌های صورت‌پذیرفته تاکنون، پژوهش جامعی درمورد ارزیابی اثر زمان فرایند برشته‌کردن دانهٔ سویا بر ویژگی‌های آرد آن به‌منظور بررسی قابلیت جایگزینی با پودر کاکائو و شناخت رفتار جریان در طی فراوری حرارتی وجود ندارد. بنابراین، در این پژوهش به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی (فعالیت آبی، pH، a_w، پارامترهای رنگی، ظرفیت جذب آب و روغن)، ویژگی‌های فیزیکی و جریان‌پذیری (زاویهٔ ریپوز، دانسیتهٔ توده و متراکم، اندازهٔ ذرات، ضریب هاسنر و اندیس کار)، حرارتی (کالری‌متری افتراقی)، آنتی‌اکسیدانی و حسی آرد سویا در زمان‌های مختلف برشته‌کردن پرداخته شده است، تا بر پایهٔ اطلاعات به‌دست‌آمده و باتوجه‌به پتانسیل بالای تغذیه‌ای و عملکردی دانهٔ سویا، بتوان شرایط مطلوب برای معرفی این محصول به‌عنوان ترکیب جایگزین برای پودر کاکائو در تهیهٔ انواع مختلف محصولات غذایی، خصوصاً شکلات را بررسی نمود.

مواد و روش‌ها

نمونهٔ دانهٔ کامل سویای مورداستفاده از کارخانه پروتئین توس سویا مشهد تأمین گردید که از واریتهٔ جی تی ایکس به‌عنوان واریتهٔ غالب کشت در منطقهٔ استان گلستان می‌باشد. مواد شیمیایی مورداستفاده در آزمون‌ها از شرکت سیگما آلدریچ تهیه شد.

فرایند برشته‌کردن

به‌منظور برشته‌کردن نمونه‌ها از دستگاه برشته‌کن[1] الکتریکی آزمایشگاهی (مدل پروبات PRE 1Z[2]، ساخت آلمان) موجود در واحد تحقیق و توسعهٔ کارخانهٔ قهوه‌مولتی مشهد استفاده گردید. ۱۰۰ گرم نمونه وارد محفظهٔ چرخان دستگاه شدند که از قبل به دمای ۱۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد رسیده بود. زمان‌های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه برای برشته‌شدن اعمال گردید. پس از طی زمان مشخص، نمونه‌ها به دمای محیط (۲±۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) رسید و توسط آسیاب آزمایشگاهی (IKA-A11، ساخت آلمان) پودر شد و از الک با مش۴۰ (۴۲۰ میلی‌متر) عبور داده شد. پس از آن نمونه‌های آرد برشته‌شده در ظروف شیشه‌ای کاملاً دربسته آزمایشگاهی در دمای یخچال نگهداری شدند.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های عملکردی

اندازه‌گیری فعالیت آب و pH

فعالیت آبی کلیهٔ نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و با استفاده از دستگاه Novasina Labmaster (ساخت سوئیس) انجام گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری pH از دستگاه pHمتر آزمایشگاهی (Metrohm 827، ساخت سوئیس) استفاده گردید.

ظرفیت جذب روغن[3] (OHC)

ظرفیت جذب روغن براساس روش Yu و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد. ۱ گرم از نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر روغن‌زیتون در فالکون به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد و سپس به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید (۵۰۰۰×g). ظرفیت جذب روغن مطابق رابطهٔ (۱) محاسبه شد:

[1] Electrical Lab Roaster
[2] Probat
[3] Oil Holding Capacity

رابطهٔ (۱)

$$OHC = \frac{O_2 - O_1}{O_0}$$

در رابطهٔ (۱)، O_0 وزن پودر خشک (گرم)، O_1 وزن فالکون به‌علاوه پودر خشک (گرم) و O_2 وزن فالکون به‌علاوه رسوب پودر حاوی روغن (گرم) است.

ظرفیت جذب آب[1] (WHC)

به‌منظور اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب، ۱ گرم از نمونه‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه در فالکون به مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر مخلوط شدند. سپس مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد و پس از سانتریفیوژکردن نمونه (۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰×g)، ظرفیت جذب آب مطابق رابطهٔ (۲) محاسبه گردید (Yu *et al*., 2007):

رابطهٔ (۲)

$$WHC = \frac{W_2 - W_1}{W_0}$$

در رابطهٔ (۲)، W_0 وزن پودر خشک (گرم)، W_1 وزن فالکون به‌علاوه پودر خشک (گرم) و W_2 وزن فالکون به‌علاوه رسوب پودر حاوی آب (گرم) است.

ارزیابی ویژگی‌های رنگی

ویژگی‌های رنگی نمونهٔ موردبررسی با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (مدل C4-410، شرکت اوساکا، ساخت ژاپن) و براساس پارامترهای L*، a* و b* اندازه‌گیری شد.

آنالیز شیمیایی

رطوبت، چربی، خاکستر و پروتئین

میزان رطوبت، چربی و خاکستر نمونه‌ها مطابق روش AOAC (۲۰۰۳) برای آرد سویا به‌ترتیب با شماره‌های (۹۴۲/۰۵، ۹۴۵/۳۹ و ۹۲۵/۱۰) اندازه‌گیری شد. میزان پروتئین نمونه‌ها نیز با روش کلدال به شمارهٔ ۹۲۰/۸۷ و اعمال ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین سویا معادل ۵/۷۱ تعیین مقدار شد (AOAC, 2003).

عناصر معدنی

به‌منظور اندازه‌گیری کیفی و کمی عناصر موجود در نمونه‌های موردبررسی از پلاسمای جفت‌شدهٔ القایی (ICP-OES) (SPECTRO ARCOS، Ametek، ساخت آلمان) استفاده گردید. در ابتدا ۰/۵ گرم از نمونهٔ موردبررسی با استفاده از هیدروژن پراکسید و نیتریک اسید با نسبت حجمی ۱:۲ تجزیه شد و سپس به‌منظور تکمیل فرایند تجزیهٔ نمونه‌ها درون ظرف پرفلوروآلکوکسی[2] قرارداده‌شده و به مدت ۱۵ دقیقه با توان ۴۰۰ وات حرارت دیدند. در پایان، نمونه‌ها تا دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد سرد شده و به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده شدند (Anderson, 1996). مقادیر عناصر معدنی کلسیم، آهن، سدیم، منیزیم، منگنز، روی و مس در نمونهٔ آرد سویای خام و برشته‌شده پس از طی زمان ۱۲ دقیقه، تعیین مقدار گردید.

بررسی پارامترهای فیزیکی، جریان‌پذیری و حرارتی

زاویهٔ ریپوز

زاویهٔ ریپوز پرکردن نمونه‌ها با استفاده از روش Aulton و همکاران (۲۰۱۳) اندازه‌گیری شد.

دانسیتهٔ توده و متراکم، نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار[3]

به‌منظور تعیین دانسیتهٔ توده، نمونه‌ها درون ظرف استوانه‌ای شیشه‌ای ریخته شدند و مقادیر دانسیته با محاسبهٔ نسبت جرم به حجم محاسبه گردید. علاوه‌بر این، دانسیتهٔ متراکم با واردکردن ۱۲۵۰ ضربه و کاهش ارتفاع نمونه‌ها درون ظرف شیشه‌ای تا رسیدن به حجم ثابت توسط دستگاه سنجش دانسیتهٔ متراکم (مدل PT-TD200، ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد (Narayana & Rao, 1984). نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار با استفاده از رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه گردید:

رابطهٔ (۳)

$$\text{نسبت هاسنر} = \frac{\text{دانسیته متراکم}}{\text{دانسیته توده}}$$

[1] Water Holding Capacity

[2] Perfluoroalkoxy (PFA)

[3] Carr Compression Index

رابطهٔ (۴)

$$\text{اندیس پذیری‌تراکم کار} = \left(\frac{\text{دانسیتهٔ متراکم} - \text{دانسیتهٔ توده}}{\text{دانسیتهٔ متراکم}}\right) \times ۱۰۰$$

اندازهٔ ذرات

نمونه‌های آرد در محلول آبی با غلظت ۲۰ پی‌پی‌ام برای مدت ۵ دقیقه تحت اولتراسوند با فرکانس ۳۵ هرتز قرار گرفتند. اندازهٔ ذرات با استفاده از دستگاه سنجش اندازهٔ ذرات (Mastersizer micro Malvern، ساخت انگلستان) به روش تفرق نور دینامیک[1] موردارزیابی قرار گرفت.

ارزیابی ویژگی‌های حرارتی

ویژگی‌های حرارتی نمونه‌ها با استفاده از گرماسنج افتراقی (Perkin-Elmer، Pyris 6 DSC، ساخت ژاپن) انجام گرفت. ۵ گرم از نمونه‌ها درون ظروف آلومینیومی وزن شدند و بین صفر تا ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و با سرعت ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد بر دقیقه حرارت داده شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری فنول کل

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی با استفاده از روش اسپکتروفتومتری و براساس روش سینگلتون انجام گرفت (Singleton & Rossi, 1965). ۱ میلی‌لیتر از محلول ۳۰۰۰ پی‌پی‌ام از نمونه با ۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالچیو[2] مخلوط شد و به مدت ۳ دقیقه در دمای محیط ماند. سپس ۴ میلی‌لیتر از محلول سدیم کربنات به مخلوط حاصل اضافه گردید و به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. در انتها جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۲۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم نمونه گزارش شد.

اندازه‌گیری فلاونوئید کل

۱ میلی‌گرم از محلول با غلظت ۶۰۰۰ پی‌پی‌ام به ۷۵ میکرولیتر محلول سدیم نیترات ۵ درصد اضافه شد و سپس مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری شد. جذب نمونه‌های حاصل در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. از کوئرستین[3] به‌عنوان استاندارد استفاده گردید و نتایج به‌صورت میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم نمونه گزارش شد (Vissotto *et al.*, 2010).

توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH

۰/۵ میلی‌لیتر از محلول ۱و۱- دی فنیل ۲- پیکریل هیدرازیل[4] (DPPH) در متانول (۰/۱ میلی‌مولار) به ۳ میلی‌لیتر از محلول هر نمونه با غلظت‌های از پیش تعیین‌شده اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری گردید و سپس میزان جذب محلول در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. آسکوربیک اسید به‌عنوان نمونهٔ کنترل به‌منظور مقایسهٔ فعالیت ضدرادیکالی نمونه‌ها مورداستفاده قرار گرفت (Blois, 1958). درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH با استفاده از رابطهٔ (۵) محاسبه گردید:

رابطهٔ (۵)

$$\text{درصد مهارکنندگی} = \frac{\text{جذب نمونهٔ کنترل} - \text{جذب نمونه}}{\text{جذب نمونه}} \times ۱۰۰$$

ارزیابی حسی آردهای سویای برشته‌شده

آزمون حسی هدونیک ۹ نقطه‌ای با حضور ۱۰ ارزیاب از گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد که آموزش‌های اولیه را دیده بودند، انجام شد. آماده‌سازی نمونه‌ها مطابق آزمون انجام‌شده توسط Yousif و Alghzawi (۲۰۰۰) برای ارزیابی حسی پودرهای برشتهٔ خرنوب بود. امتیاز ۹ برای بیشترین مطلوبیت و امتیاز ۱ برای عدم مطلوبیت در نظر گرفته شد، امتیاز ۵ برای شرایط بینابین لحاظ گردید. پارامترهای موردبررسی شامل رنگ، طعم، بو و پذیرش کلی بود.

[1] Dynamic Light Scattering
[2] Folin–Ciocalteu Reagent
[3] Quercetin
[4] 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

آنالیز آماری

آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۶ در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های عملکردی

pH و a_w

بررسی فعالیت آبی مواد غذایی به‌دلیل تأثیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی فراورده‌های غذایی حائز اهمیت است. علاوه‌بر این، درمورد پودرهای غذایی، این شاخص مستقیماً بر رفتار جریان، کلوخه‌شدن و میزان فشردگی اثر می‌گذارد. براساس جدول (۱)، فعالیت آبی آرد سویا ۰/۳۳۷ بود. فرایند حرارت‌دهی تا ۴ دقیقه سبب کاهش این مقدار تا ۰/۰۵۵ گردید ($P<0/05$). اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های ۸-۴ دقیقه و همچنین ۱۰ تا ۱۲ دقیقه مشاهده نشد ($P>0/05$). Meursing (۱۹۸۳) مقدار فعالیت آبی متوسط را برای پودر کاکائو ۰/۱۸±۰/۰۳ گزارش نمود (Meursing, 1983)، که کمتر از نتایج به‌دست‌آمده برای آرد سویای خام و بیشتر از نتایج حاصل برای آرد سویای برشته‌شده در زمان‌های موردآزمون در این پژوهش بود. پایین‌بودن فعالیت آبی در نمونهٔ تازه و نمونه‌های برشته‌شده در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد که این محصول در مقابل بسیاری از فسادهای میکروبی و آنزیمی مقاوم است.

جدول ۱ - اثر زمان فرایند برشته‌کردن بر a_w، pH، ظرفیت نگهداری آب (WHC) و روغن (OHC) آردهای سویای برشته‌شده

زمان برشته‌کردن (دقیقه)	a_w	pH	ظرفیت نگهداری آب	ظرفیت نگهداری روغن
۰	۰/۳۳۷±۰/۰۱^{a}	۶/۴۳±۰/۰۷^{a}	۲/۰۶±۰/۰۶^{c}	۳/۲۱±۰/۰۳^{b}
۴	۰/۰۵۵±۰/۰۰^{b}	۶/۳۳±۰/۰۴^{b}	۲/۲۲±۰/۰۶^{a}	۲/۱۵±۰/۰۳^{f}
۶	۰/۰۵۲±۰/۰۲^{c}	۶/۳۰±۰/۰۴^{b}	۲/۱۴±۰/۰۵^{b}	۳/۰۲±۰/۰۳^{d}
۸	۰/۰۲۷±۰/۰۱^{d}	۶/۲۵±۰/۰۳^{c}	۱/۹۱±۰/۰۵^{d}	۳/۱۱±۰/۰۳^{c}
۱۰	۰/۰۲۳±۰/۰۴^{de}	۶/۲۵±۰/۰۵^{c}	۱/۸۸±۰/۰۴^{d}	۳/۵۲±۰/۰۳^{a}
۱۲	۰/۰۲۱±۰/۰۰^{e}	۶/۲۶±۰/۰۶^{c}	۱/۷۹±۰/۰۶^{e}	۲/۸۶±۰/۰۳^{e}

* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

باتوجه‌به نتایج جدول (۱)، زمان برشته‌کردن اختلاف معنی‌داری را بین pH نمونه‌ها ایجاد کرد ($P<0/05$). به‌طورکلی pH با افزایش زمان برشته‌کردن تا ۸ دقیقه از ۶/۴۳ به ۶/۲۵ کاهش یافت و تغییرات روندی نزولی داشت؛ اما در زمان ۱۲ دقیقه، pH کمی افزایش نشان داد. با افزایش زمان در طی حرارت‌دهی، واکنش قهوه‌ای‌شدن میلارد ادامه پیدا می‌کند و درگیرشدن ساختارهای آمینی در واکنش‌ها شدت می‌یابد. درنتیجه pH نمونه با افزایش زمان حرارت‌دهی به سمت اسیدی‌شدن می‌رود (Fallico *et al.*, 2003). Yousif و Alghzawi (۲۰۰۰) نقش محصولات فرعی و حد واسط واکنش کاراملیزاسیون اسیدی، نظیر اسید پیرووویک[1] را نیز در این کاهش مؤثر می‌دانند (Yousif & Alghzawi, 2000). از زمان ۸ دقیقه به بعد تغییرات pH تقریباً متوقف می‌شود که احتمال می‌رود به‌دلیل کُندشدن روند واکنش میلارد باشد. Meursing (۱۹۸۳) مقدار متوسط pH را برای پودر کاکائوی هلندی با فرایند تولید مخصوص به خود معادل ۷/۱±۰/۰۵ گزارش نمود (Meursing, 1983).

ظرفیت نگهداری آب و روغن

میزان ظرفیت نگهداری روغن و آب در آرد سویا به‌عنوان تابعی از مدت زمان فرایند برشته‌کردن در جدول (۱) آورده شده است. ظرفیت نگهداری روغن برای آرد سویا (گرم/گرم) ۳/۲۳ به‌دست آمد. براساس جدول (۱) می‌توان مشاهده کرد که با افزایش زمان برشته‌کردن، مقادیر شاخص OHC کاهش یافت. مقدار به‌دست‌آمده برای ظرفیت جذب روغن در آرد سویای

[1] Pyruvic Acid

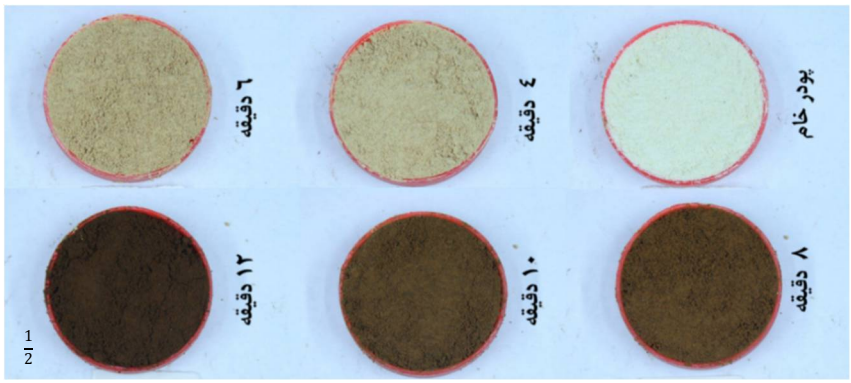
خام بیشتر از مقادیر گزارش‌شده برای آردهای فندق (۱±۱/۱۱ گرم/گرم) و بادام (۱/۰۸۱ گرم/گرم) است (Olatidoye *et al*., 2011; Turan *et al*., 2015). میزان روغن جذب‌شده در نمونه، شاخص مهمی در فرمولاسیون مواد غذایی می‌باشد چرا که بر خصوصیاتی نظیر احساس دهانی و طعم محصول تأثیر مستقیم دارد (Odoemelam, 2005). بالابودن ظرفیت نگهداری روغن در آرد سویا آن را به پودری با پتانسیل نسبتاً بالا برای نگهداری طعم در سیستم‌های غذایی که به ظرفیت جذب روغن بالا نیاز دارند، تبدیل می‌کند (Turan *et al*., 2015). مهم‌ترین ترکیب شیمیایی و تأثیرگذار بر ظرفیت نگهداری روغن، پروتئین‌ها هستند که هر دو خاصیت آب‌دوست و آب‌گریز را دارا می‌باشند (Jitngarmkusol *et al*., 2008). بالابودن ظرفیت جذب روغن در آرد سویا می‌تواند به بالابودن درصد پروتئین (۴۰/۵۵ درصد در آرد خام) در ترکیب شیمیایی این محصول مربوط گردد.

ظرفیت نگهداری آب برای آرد سویای خام (گرم/گرم) ۲/۰۶ بود. این پارامتر برای آرد فندق خام صفر گزارش شد. درحالی‌که برشته‌نمودن این دانه در دمای ۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد برای ۴۰ دقیقه تا ۲۰۰ درصد باعث افزایش این ویژگی گردید (Turan *et al*., 2015). باتوجه‌به اینکه ظرفیت نگهداری آب نقشی اساسی در تولید محصولات غذایی مختلف نظیر انواع سوپ، خمیر و محصولات پخت دارد، اضافه‌نمودن آرد سویا به فرمولاسیون محصولات غذایی مختلف می‌تواند سبب ارتقاء خصوصیات تغذیه‌ای و عملکردی آنها گردد. با افزایش زمان برشته‌کردن سویا، ظرفیت نگهداری آب طی فرایند برشته‌کردن ابتدا کمی افزایش و سپس با ادامهٔ برشته‌کردن نمونه‌ها کاهش یافت. باتوجه‌به اینکه خاصیت جذب آب عمدتاً تحت‌تأثیر حضور گروه‌های آب‌دوست موجود در پروتئین‌ها، فیبر، کربوهیدرات‌ها و غیره می‌باشد (Muzaffar *et al*., 2016)، و درمورد سویا پروتئین‌ها به‌طور واضح نقش برجسته‌تری دارند، همچنین با درنظرگرفتن حساسیت حرارتی ساختار پروتئین‌ها، طی برشته‌کردن، مشاهده می‌شود که در زمان‌های ۶ دقیقه به بعد در فرایند، با دناتوره‌شدن پروتئین‌ها و افزایش در سطح قرارگرفتن گروه‌های آب‌گریز ظرفیت جذب آب نیز کاهش یافته است. همچنین درگیرشدن برخی ساختارهای پروتئینی در واکنش میلارد نیز می‌تواند در این کاهش مؤثر باشد. بنابراین، اگر خصوصیات عملکردی این محصول ازنظر قابلیت نگهداری آب مدنظر باشد؛ باید حداقل فرایند حرارتی مورداستفاده قرار گیرد.

پارامترهای رنگ

ویژگی‌های ظاهری و حسی مواد غذایی تأثیر قابل‌توجهی بر پذیرش مصرف‌کننده دارند. طی فرایند برشته‌کردن سویا، واکنش میلارد بین گروه‌های آمین آزاد و قندهای ساده اتفاق می‌افتد که درنتیجهٔ آن ترکیبات مولد عطروطعم شامل انواع فوران، تیازول، تیوفن، پیرول، اکسازول، پیریدین و پیرازین تولید می‌شوند (Hwang *et al*., 1995). پیرازین‌ها فراوان‌ترین ترکیبات هتروسیکلیک تولیدشده طی فرایند برشته‌کردن بوده و مسئول عطروطعم برشتگی و همچنین رنگ زرد تشکیل‌شده در مواد غذایی پخته هستند (Lee & Shibamoto, 2002). تأثیر فرایند برشته‌کردن بر رنگ طی زمان‌های مختلف در جدول (۲) آمده است. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد، با افزایش زمان فرایند برشته‌کردن، مقادیر پارامتر L* کاهش یافته است. پایین‌تربودن این پارامتر-که شاخصی از میزان روشنی است-نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان برشته‌کردن درجهٔ روشنی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. این تغییر رنگ به‌دلیل انجام واکنش قهوه‌ای‌شدن میلارد و تولید هیدروکسی‌متیل فورفورال می‌باشد (Fallico *et al*., 2003). علاوه‌بر این، با افزایش زمان برشته‌کردن دانهٔ سویا مقادیر پارامتر b* کاهش یافت که نشان‌دهندهٔ کاهش درجهٔ رنگ آبی در نمونه‌هاست. روند تغییرات پارامتر a* از ۰/۴۸- در نمونهٔ خام تا ۸/۳۲ در اولین زمان برشته‌کردن نشان‌دهندهٔ تغییر طیف رنگی نمونه از محدودهٔ سبز به قرمز می‌باشد که در ادامه تا انتهای فرایند، بر شدت آن افزوده می‌شود. این تغییرات رنگی طی فرایند حرارتی پودرهای خوراکی می‌تواند در تولید محصولاتی که رنگ تیرهٔ قهوه‌ای در آنها مطلوب است همراه باارزش تغذیه‌ای بالا استفاده گردد. پارامتر

رنگی *L به‌عنوان شاخص میزان برشته‌شدن در مواد غذایی (نظیر قهوه و کاکائو) مورداستفاده قرار می‌گیرد و به‌عنوان شاخص دما ـ زمان دررابطه‌با تأثیر فرایند نهایی برشته‌کردن در آزمون‌ها کاربرد دارد(Sacchetti *et al.*, 2009). پارامترهای *L و *a نمونه‌های برشته‌شده در زمان‌های ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه معادل محدودهٔ تعیین‌شده برای پودر کاکائوی برشته‌شده در دمای ۱۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد (سیستم حرارتی هوای داغ) و زمان ۳۰ تا ۴۰ دقیقه بودند (Zyzelewicz *et al.*, 2014). تغییرات رنگی نمونه‌ها طی فرایند برشته‌کردن در شکل (۱) قابل مشاهده است.



شکل ۱ - تغییرات رنگی آرد سویا در زمان‌های مختلف برشته‌شدن

جدول۲ - پارامترهای رنگی آرد سویای برشته‌شده در زمان‌های متفاوت فرایند برشته‌کردن

زمان برشته‌شدن (دقیقه)	L*	a*	b*
۰	۸۵/۱۹±۰/۰۹^{a}	-۰/۴۸±۰/۰۵^{d}	۳۰/۲۸±۰/۶۳^{a}
۴	۶۶/۷۷±۰/۹۹^{b}	۸/۳۲±۰/۲۳^{c}	۲۹/۵۱±۰/۲۵^{ab}
۶	۶۰/۴۵±۰/۶۲^{c}	۸/۹۳±۰/۰۵^{b}	۲۸/۲۷±۰/۱۹^{b}
۸	۴۰/۴۷±۰/۵۲^{d}	۱۰/۸۹±۰/۱۰^{a}	۲۳/۳۲±۰/۳۴^{c}
۱۰	۳۷/۸۸±۰/۲۶^{e}	۱۰/۸۸±۰/۲۶^{a}	۲۱/۶۸±۰/۱۰^{d}
۱۲	۳۰/۱۱±۰/۱۳^{f}	۱۰/۵۰±۰/۱۶^{a}	۱۵/۷۵±۰/۲۶^{e}

* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

ترکیب شیمیایی

رطوبت، چربی، خاکستر و پروتئین

نتایج حاصل از فرایند برشته‌کردن بر ترکیب شیمیایی آرد سویا در جدول (۳) آورده شده است. دانهٔ سویا به‌طور میانگین شامل ۵/۹۵ درصد رطوبت، ۴۰/۵۵ درصد پروتئین، ۱۷/۹۵ درصد چربی و ۵ درصد خاکستر می‌باشد. حضور مقادیر بالای پروتئین در ترکیب شیمیایی آرد سویا زمینه را فراهم می‌آورد تا فرآیند حرارتی منجربه ایجاد واکنش بین گروه آمین آزاد آمینواسیدها و گروه‌های آلدهیدی قندهای احیاکننده شود و ترکیبات پلیمری قهوه‌ای‌رنگ نامحلول در آب به نام ملانوییدین تولید کند. این ترکیب پلیمری منجربه ایجاد تغییرات در ویژگی‌های رنگی و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. ازاین‌رو، انتظار می‌رود که فرایند برشته‌کردن موجب بهبود طعم و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی این محصول گردد. با افزایش زمان برشته‌کردن مقدار پروتئین نمونه‌ها کاهش یافت که پژوهشگران متعددی این روند را طی برشته‌کردن گزارش کرده‌اند (Turan *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2011).

محصولات طبیعی به‌طور معمول دارای رطوبت مناسب جهت رشد میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیم‌ها بوده و کیفیت این محصولات تحت‌تأثیر فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی کاهش می‌یابد. مقدار رطوبت موجود در آرد سویا کمتر از مقادیر بحرانی رطوبتی است که کیفیت محصولات غذایی را کاهش می‌دهد. با افزایش زمان برشته‌کردن از صفر تا ۱۲ دقیقه، مقدار رطوبت نمونه‌ها از ۵/۹۵ تا ۱/۶۰ درصد کاهش یافت.

مقادیر چربی موجود در آرد سویا ۱۷/۹۵ درصد می‌باشد که بالاتر از مقادیر به‌دست‌آمده برای بسیاری از دانه‌ها و غلات است، که این محصول را به‌عنوان منبع غنی از اسیدهای چرب معرفی نموده است. با افزایش زمان برشته‌کردن، درصد چربی نمونه‌ها افزایش یافت که می‌تواند به‌دلیل شکست حرارتی پیوندهای بین ماتریکس نمونه‌ها و چربی باشد که منجربه آزادشدن چربی می‌گردد (Oboh *et al.*, 2010).

Meursing (۱۹۸۳)، مقادیر متوسط ترکیبات شیمیایی پودر کاکائو را برای درصد رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر به‌ترتیب معادل ۲/۵۱±۰/۳۴، ۲۲/۹±۰/۳۸، ۲۲/۸۸±۰/۶۳ و ۶/۴۰±۰/۶۳ گزارش نمود (Meursing, 1983). همان‌طورکه در جدول (۳) مشاهده می‌شود؛ از بین نمونه‌ها، آرد سویای برشته‌شده برای مدت زمان ۸ دقیقه، بیشترین شباهت را به مقادیر متوسط گزارش‌شده برای پودر کاکائو دارد.

جدول ۳ - تأثیر زمان فرایند برشته‌کردن بر ترکیب شیمیایی آرد سویای برشته‌شده

زمان برشته‌کردن (دقیقه)	پروتئین	چربی	خاکستر	رطوبت
۰	۴۰/۵۷±۰/۳۰^{a}	۱۷/۹۵±۰/۲۸^{d}	۵/۰۰±۰/۱۵^{c}	۵/۹۵±۰/۰۲^{a}
۴	۲۸/۱۴±۰/۲۲^{b}	۱۷/۸۷±۰/۶۵^{cd}	۵/۰۸±۰/۰۹^{c}	۳/۱۸±۰/۰۳^{b}
۶	۲۳/۹۶±۰/۱۸^{c}	۱۸/۵۸±۰/۳۸^{c}	۵/۱۱±۰/۰۷^{c}	۳/۰۴±۰/۰۲^{c}
۸	۲۲/۶۰±۰/۲۶^{d}	۲۱/۸۶±۰/۳۷^{b}	۵/۱۳±۰/۰۵^{c}	۲/۴۸±۰/۰۲^{d}
۱۰	۲۲/۳۱±۰/۲۷^{d}	۲۳/۵۱±۰/۲۹^{a}	۵/۳۰±۰/۰۵^{b}	۲/۰۰±۰/۰۳^{e}
۱۲	۲۰/۹۶±۰/۱۱^{e}	۲۳/۵۰±۰/۱۹^{a}	۵/۶۱±۰/۱۲^{a}	۱/۶۰±۰/۰۲^{f}

* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

آنالیز عناصر معدنی

دانهٔ سویا دارای ۵ درصد خاکستر است. به‌دلیل مقادیر نسبت بالای خاکستر در دانهٔ سویا، آنالیز عنصری این محصول قبل و پس از برشته‌شدن برای مدت ۱۲ دقیقه انجام گردید. براساس جدول (۴)، دانهٔ سویا دارای مقادیر بالایی از عناصر مغذی بخصوص کلسیم، آهن و منیزیم می‌باشد. ازاین‌رو، این محصول قابلیت استفاده به‌عنوان یک محصول تغذیه‌ای را داراست. همان‌طورکه در جدول (۴) دیده می‌شود، مقدار عناصر مغذی موجود در نمونه‌ها ازقبیل کلسیم، روی، آهن، منیزیم و منگنز پس از فرایند برشته‌کردن (پس از ۱۲ دقیقه) افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گرفت محصول برشته‌شده نسبت به محصول خام از لحاظ درصد عناصر مغذی برتر است و فرایند برشته‌کردن می‌تواند به‌عنوان فرایندی مفید در جهت افزایش ارزش تغذیه‌ای این محصول پیشنهاد گردد. نتایج مشابهی درمورد اثر فرایند برشته‌کردن بر عناصر تغذیه‌ای دانهٔ لوبیای یام آفریقایی گزارش شد (Ndidi *et al.*, 2014). آنها نشان دادند که نمونه‌های برشته‌شده ازنظر مقدار عناصر مغذی ازقبیل کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز و روی غنی‌تر هستند.

با افزایش زمان برشته‌کردن نمونه‌ها، درصد خاکستر اندازه‌گیری‌شده از ۵/۰۸ به ۵/۶۱ افزایش یافت. مقدار افزایش جزئی مشاهده‌شده در مقدار خاکستر نمونه‌ها با افزایش مدت زمان برشته‌کردن می‌تواند به‌دلیل کاهش میزان رطوبت و اُفت نسبت مواد ارگانیک به نفع مواد معدنی طی فرایند حرارتی باشد (Rakić *et al.*, 2006).

جدول ۴- تأثیر فرایند برشته‌کردن بر پروفایل عناصر معدنی آرد سویای برشته‌شده

زمان (دقیقه)	عناصر (پی‌پی‌ام)						
	کلسیم	آهن	سدیم	منیزیم	منگنز	روی	مس
۰	۵۹۴/۵۸±۳/۲۳^{b}	۲۶/۰۴±۱/۲۳^{b}	۶۹/۳۴±۱/۱۲^{a}	۸۶۶/۳۰±۱/۱۷^{b}	۳/۲۷±۱/۰۲^{b}	۱۱/۰۳±۰/۱۶^{b}	۴/۹۰±۰/۲۱^{b}
۱۲	۶۶۹/۶۱±۵/۴۴^{a}	۲۸/۰۸±۰/۳۶^{a}	۴۸/۳۱±۳/۹۵^{b}	۹۵۲/۱۴±۲/۰۹^{a}	۷/۶۴±۰/۴۳^{a}	۱۲/۳۹±۰/۱۱^{a}	۵/۴۵±۰/۹۲^{a}

* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

بررسی پارامترهای فیزیکی، جریان‌پذیری و حرارتی زاویهٔ ریپوز، دانسیتهٔ توده و متراکم، اندازهٔ ذرات، نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار

دانسیتهٔ تودهٔ آرد خام سویا ۰/۳۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود که مشابه مقادیر گزارش‌شده برای آرد فندق و کمتر از مقادیر به‌دست‌آمده برای آرد بادام هندی است (Turan *et al*, 2015). در طی فرایند برشته‌کردن، کاهش جزئی در روند دانسیته مشاهده شد که می‌تواند به تأثیر دما بر ساختار فیبر نمونه مربوط شود (Yağcı & Göğüş, 2008). نتایج مشابهی توسط Turan و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده شد.

آنها گزارش کردند که حرارت‌دهی پودر فندق بدون روغن منجربه‌کاهش ۸ (دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه) تا ۳۵ درصدی (دمای ۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه) دانسیتهٔ توده گردید (Turan *et al*., 2015). دانسیتهٔ توده از دیدگاه کنترل کیفیت مواد غذایی، درخصوص اضافه‌شدن ترکیب پودرخام به محصول و بخصوص در پرکن‌ها حائز اهمیت می‌باشد (Barbosa-Cánovas *et al*., 2005). ازآنجایی‌که آرد سویای برشته‌شده دانسیتهٔ تودهٔ پایینی دارد می‌توان انتظار داشت که این محصول از قابلیت مناسبی برای تهیهٔ مخلوط‌های ترکیبی برخوردار می‌باشد. نسبت هاسنر ـ شاخصی از نیروی اصطکاک بین ذرات و اندیس تراکم‌پذیری کار ـ شاخصی از شدت و ثبات اتصالات بین ذرات پودر ـ به‌صورت گسترده‌ای به‌منظور ارزیابی رفتار جریان پودرها مورداستفاده قرار می‌گیرند (Kumar *et al*., 2001; De Freitas Eduardo & da Silva Lannes, 2007; Oliveira *et al*., 2013; Shah *et al*., 2008). رفتار جریان را براساس این پارامترها می‌توان درجه‌بندی نمود (Hausner, 1967; Carr, 1965). مقادیر کمتر این دو پارامتر، بر جریان‌پذیری بهتر ماده دلالت دارد. درصورتی‌که نسبت هاسنر کمتر از ۱/۱۱ و اندیس تراکم‌پذیری کار کمتر از ۱۰ باشد، جریان‌پذیری پودر در درجهٔ «عالی» قرار می‌گیرد و اگر نسبت هاسنر بیشتر از ۱/۶۰ و اندیس تراکم‌پذیری کار بیشتر از ۳۸ باشد، نشان‌دهندهٔ جریان «بسیار بسیار ضعیف» خواهد بود. مقادیر نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار به‌ترتیب در محدودهٔ ۱/۱۲ تا ۱/۱۸ و ۱۱ تا ۱۵ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «خوب»، در محدودهٔ ۱/۱۹ تا ۱/۲۵ و ۱۶ تا ۲۰ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «نسبتاً خوب»، ۱/۲۶ تا ۱/۳۴ و ۲۱ تا ۲۶ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «قابل ردشدن»، ۱/۳۵ تا ۱/۴۵ و ۲۶ تا ۳۱ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «ضعیف» و در محدودهٔ ۱/۴۶ تا ۱/۵۱ و ۳۲ تا ۳۷ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «خیلی ضعیف» قرار می‌گیرند (Shal *et al*., 2008). نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار به‌ترتیب در نمونهٔ آرد خام سویا ۱/۵۱ و ۳۳/۳۳ بوده و و تا انتهای فرایند برشته‌کردن به ۱/۴۰ و ۲۸/۷۳ کاهش می‌یابد. همان‌طورکه در جدول (۵) مشاهده می‌شود، مقادیر نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار برای آرد خام سویا در دسته‌بندی جریان‌پذیری «خیلی ضعیف» قرار می‌گیرد که اعمال فرایند حرارتی باعث بهبود خصوصیت جریان‌پذیری گردید و در محدودهٔ با جریان‌پذیری ضعیف قرار گرفتند. دلیل این موضوع نیز می‌تواند وجود مقادیر بالایی از چربی در سطح ذرات باشد که سبب ایجاد پل‌های مایع[1] و نهایتاً آگلومریزاسیون می‌گردد (Kim *et al*., 2005). با افزایش زمان برشته‌کردن مقادیر نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار کاهش یافت که نشان‌دهندهٔ بهبود خاصیت جریان‌پذیری آرد سویای برشته‌شده می‌باشد، البته این روند کاهشی تا زمان ۶ دقیقه معنی‌دار بود ($P<0/05$). Oliveira و همکاران (۲۰۱۳)، ضریب هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار را برای پودر ایزوفلاون سویا با درصد رطوبت ۴/۴، به‌ترتیب معادل ۱/۷۵ و ۴۲/۸۶ گزارش نمودند (Oliveira *et al*., 2013). با افزایش زمان برشته‌کردن مقادیر زاویهٔ ریپوز کاهش یافت که نشان‌دهندهٔ کاهش نسبی پیوستگی پودرها با افزایش زمان برشته‌کردن می‌باشد که با نتایج ضریب هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار تراکم‌پذیری مطابقت دارد. Liu و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که جریان‌پذیری پودرها به شدت به اندازهٔ ذرات آنها وابسته است و با افزایش اندازهٔ ذرات پودرها، جریان‌پذیری آنها بهبود می‌یابد (Liu *et al*., 2008). Meursing (۱۹۸۳) اندازهٔ متوسط ذرات پودر کاکائو را

[1] Liquid Bridging

۷۰ میکرومتر گزارش نمود (Meursing, 1983)، با افزایش مدت زمان برشته‌کردن، اندازهٔ ذرات نمونه‌ها کاهش یافت. این روند با نتایج به‌دست‌آمده از نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار مغایرت دارد. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی، شکل ذرات و خصوصیات سطحی ذرات پودرهای غذایی، نقش بسیار قوی‌تری نسبت به اندازهٔ ذرات آنها در جریان‌پذیری پودر ایفا می‌کنند (Amagliani *et al.*, 2016)، نتایج پژوهش‌های Fitzpatrick و همکاران (۲۰۰۴a) روی دامنهٔ وسیعی از پودرهای مواد غذایی نیز صحت این مطالب را تأیید می‌کند (Fitzpatrick *et al.*, 2004a). درجه‌بندی جریان‌پذیری پودرها براساس زاویهٔ ریپوز به‌این صورت است؛ زاویهٔ کمتر از ۳۰ درجه «عالی»، بیشتر از ۵۶ درجه، جریان‌پذیری «خیلی ضعیف»، محدودهٔ ۳۱-۳۵ درجه، جریان‌پذیری «خوب»، محدودهٔ ۳۶-۴۰ درجه، جریان‌پذیری «نسبتاً خوب»، محدودهٔ ۴۱-۴۵ درجه، جریان‌پذیری «قابل ردشدن» با احتمال گیرکردن درون قیف، محدودهٔ ۴۶-۵۰ درجه، جریان‌پذیری «ضعیف» که پودر همراه با لرزش یا همزدن از قیف خارج می‌شود (Shah *et al.*, 2008). زاویهٔ ریپوز آرد خام ۴۸/۶ درجه به‌دست آمد که پس از اولین زمان برشته‌شدن به ۴۱/۱ درجه کاهش یافت که با نتایج ضریب هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار مطابقت دارد. کاهش زاویهٔ ریپوز در ارتباط مستقیم با کاهش میزان رطوبت در نمونهٔ پودری می‌باشد (Wang *et al.*, 1995). زاویهٔ ریپوز نقش مهمی در جابجایی پودر و طراحی مخازن دارد (Teunou *et al.*, 1999).

جدول ۵ - بررسی اثر زمان برشته‌کردن بر پارامترهای فیزیکی و جریان‌پذیری آرد سویای برشته‌شده

زمان برشته‌کردن (دقیقه)	دانسیتهٔ توده	دانسیتهٔ متراکم	نسبت هاسنر	اندیس Carr	زاویهٔ ریپوز (درجه)	اندازهٔ ذرات (میکرومتر)
۰	۰/۳۶±۰/۰۱^{a}	۰/۵۴±۰/۰۲^{a}	۱/۵۱^{a}	۳۳/۳۳^{a}	۴۸/۶±۱/۶^{a}	۳۱/۹۴±۰/۶۵^{a}
۴	۰/۳۲±۰/۰۱^{b}	۰/۴۶±۰/۰۰^{b}	۱/۴۵^{b}	۳۰/۴۳^{b}	۴۴/۶±۰/۴^{b}	۲۵/۵۲±۱/۲۳^{b}
۶	۰/۳۲±۰/۰۲^{b}	۰/۴۵±۰/۰۰^{c}	۱/۴۱^{c}	۲۸/۸۹^{c}	۴۴/۳±۱/۱^{b}	۱۹/۸۳±۰/۷۸^{c}
۸	۰/۳۲±۰/۰۱^{b}	۰/۴۵±۰/۰۲^{c}	۱/۴۱^{c}	۲۸/۸۹^{c}	۴۳/۰±۱/۳^{c}	۱۸/۸۲±۰/۶۵^{cd}
۱۰	۰/۳۱±۰/۰۱^{b}	۰/۴۳±۰/۰۰^{d}	۱/۴۰^{c}	۲۸/۷۳^{c}	۴۲/۹±۲/۱^{c}	۱۸/۷۷±۱/۱۱^{d}
۱۲	۰/۳۱±۰/۰۲^{b}	۰/۴۳±۰/۰۰^{d}	۱/۴۰^{c}	۲۸/۷۳^{c}	۴۱/۱±۳/۱^{d}	۱۸/۶۳±۱/۳۵^{e}

*تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

ارزیابی ویژگی‌های حرارتی

روش گرماسنجی افتراقی به‌طور معمول برای ارزیابی ویژگی‌های حرارتی مواد غذایی ازقبیل نقطهٔ ذوب، آنتالپی ذوب و پایداری حرارتی مورداستفاده قرار می‌گیرد. پارامترهای حرارتی نمونه‌های آرد سویا در جدول (۶) آورده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود پیک مربوط به تبخیر آب نمونه در دمای ۲۲/۱۱ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. پیک‌های مشاهده‌شده در دماهای ۳۳۶/۴۶ و ۵۳۰/۹۱ درجهٔ سانتی‌گراد مربوط به تخریب حرارتی نمونه‌ها می‌باشد. بالابودن دمای تخریب ساختار نمونه‌های سویا حاکی از پایداری حرارتی این نمونه‌ها می‌باشد. بالابودن پایداری حرارتی نمونه‌ها در سیستم‌های دارویی و غذایی دارای اهمیت می‌باشد. ازاین‌رو، بالابودن پایداری حرارتی آرد دانهٔ سویا نشان‌دهندهٔ پتانسیل بالقوهٔ این محصول در صنایع غذایی و دارویی می‌باشد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، نمونهٔ برشته‌شده دارای دمای تجزیهٔ حرارتی بالاتر و درنتیجه پایداری حرارتی بالاتری در مقایسه با نمونهٔ اولیه می‌باشد. بین نمونهٔ خام و نمونه‌های برشته‌شده در زمان‌های ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

جدول ۶ - اثر زمان فرایند برشته‌کردن سویا بر ویژگی‌های حرارتی آرد سویای برشته‌شده

زمان برشته‌شدن (دقیقه)	پیک اول	پیک دوم	پیک سوم
۰	۲۲/۱۱±۲/۱۱[a]	۳۳۶/۴۶±۵/۵۴[a]	۵۳۰/۹۱±۲/۲۱[a]
۱۲	۲۲/۴۲±۳/۳۱[a]	۳۵۳/۳۵±۶/۶۸[b]	۵۳۶/۶۶±۲/۳۳[b]

* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکال DPPH

ارزیابی میزان ترکیبات فنولی

ترکیبات فنولی به‌دلیل توانایی هیدروژن‌دهندگی و تولید رادیکال‌های حد واسط پایدار که از اکسیداسیون مواد غذایی جلوگیری می‌کنند؛ می‌توانند به‌عنوان عامل آنتی‌اکسیدانی عمل نمایند (Cuvelier *et al.*, 1992; Maillard *et al*., 1996). این ترکیبات دارای اثرات زیستی چندگانه بوده و می‌توانند خطر بیماری‌های قلبی و عروقی را کاهش دهند (Rice-Evans *et al*., 1996). همان‌طورکه در جدول (۷) مشاهده می‌شود، فرایند برشته‌کردن منجربه‌افزایش مقدار ترکیبات فنولی گردید که این نتایج با گزارش‌های ارائه‌شده توسط برخی پژوهشگران مغایر است (Baba *et al*., 2016; Lemos *et al*., 2012; Oboh *et al*, 2010; Lima *et al*., 2010; Sharma & Gujral, 2011). بااین‌حال، پژوهشگران دیگری نظیر Turkmen و همکاران (۲۰۰۵) برای نمونهٔ فندق، Sahin و همکاران (۲۰۰۹) برای نمونهٔ خرنوب و Bekedam و همکاران (۲۰۰۸) برای دانهٔ قهوه روند کاملاً مشابهی را گزارش نموده‌اند (Turkmen *et al*., 2005). فنول‌ها ترکیبات بسیار حساس به حرارت هستند و در دمای بالای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد تجزیه می‌شوند. بنابراین، انتظار می‌رود که تجزیهٔ حرارتی ترکیبات فنولی منجربه‌کاهش این ترکیبات طی فرایند برشته‌کردن شود (Randhir *et al*., 2008). بااین‌وجود، دلیل افزایش مشاهده‌شده در میزان فنول کل طی فرایند برشته‌کردن، درارتباط‌با تبخیر آب درون سلولی و درنتیجه تحریک واکنش‌های شیمیایی که می‌تواند منجربه تولید ترکیبات جدید آنتی‌اکسیدانی گردد، است. علاوه‌بر این، دناتوره‌شدن پروتئین‌ها طی فرایند حرارتی موجب افزایش دسترسی ترکیبات فنولی می‌شود (Turkmen *et al*., 2005) که با نتایج حاصل از آنالیز ترکیب شیمیایی مطابقت دارد. همچنین، فرایند حرارت‌دهی و برشته‌کردن، سبب تخریب غشاء و دیوارهٔ سلولی گشته و ترکیبات فنولی را از حالت استری خارج‌کرده و به‌صورت محلول در می‌آورد؛ این پدیده در کنار تشکیل محصولات واکنش قهوه‌ای‌شدن میلارد، مسئول افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آرد سویای برشته‌شده می‌باشد (Kim *et al*., 2011; Sahin *et al*., 2009). نتایج حاصل از تحقیق‌های گذشته نشان می‌دهد که بین مقدار ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی یک همبستگی مثبت وجود دارد (Jayaprakasha *et al*., 2008; Kornsteiner *et al*., 2006; Martínez *et al*., 2012; Li *et al*., 2009). در این پژوهش، فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانهٔ سویا در زمان‌های برشته‌کردن مختلف توسط روش DPPH موردارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون پیرسون نشان داد که بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی ($1/IC_{50}$) و مقدار فنول کل یک همبستگی معنی‌دار وجود دارد (P=۰/۰۲، R=۰/۸۸). ازاین‌رو، می‌توان نقش اصلی در فعالیت ضدرادیکالی را به ترکیبات فنولی حاضر در دانهٔ سویا نسبت داد.

ارزیابی میزان فلاونوئیدها در فرایند برشته‌کردن

ترکیبات فلاونوئیدی به‌دلیل اثر محافظت‌کنندگی خود در برابر فرایندهای اکسایشی و ویژگی ضدرادیکالی دارای اهمیت فراوانی می‌باشند (Xu & Chang, 2007). همان‌طورکه در جدول (۷) مشاهده می‌گردد، نمونهٔ آرد سویا دارای ۳/۵۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر فلاونوئید می‌باشد. با افزایش زمان برشته‌کردن نمونه‌ها، میزان فلاونوئید کل افزایش یافت که با نتایج به‌دست‌آمده از فعالیت ضدرادیکالی طی زمان‌های مختلف برشته‌کردن مطابقت دارد. نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین میزان فعالیت ضدرادیکالی نمونه‌ها ($1/IC_{50}$) و مقدار

فلاونوئید آنها همبستگی معنی‌داری وجود دارد (R=۰/۹۱، P=۰/۰۱).

فعالیت ضدرادیکالی DPPH

به‌منظور ارزیابی اثر فرایند برشته‌کردن بر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی دانهٔ سویا از آزمون‌های مختلفی ازقبیل آزمون فعالیت ضدرادیکالی و اندازه‌گیری ترکیبات فنولی استفاده شد. آزمون ارزیابی فعالیت ضدرادیکال DPPH به‌صورت گسترده‌ای در فراورده‌های غذایی مورداستفاده قرار می‌گیرد. نتایج این آزمون به‌صورت مقادیر IC_{50} (غلظتی که در آن ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد DPPH مهار می‌شود) گزارش شد. مقادیر کمتر این شاخص نشان‌دهندهٔ فعالیت ضدرادیکالی بالاتر می‌باشد. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت موردنیاز برای مهار ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد DPPH، درصد مهارکنندگی در برابر غلظت عصاره رسم شد. نتایج حاصل از آزمون DPPH در جدول (۷) آمده است. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد، با افزایش زمان برشته‌کردن دانه‌های سویا از صفر تا ۱۲ دقیقه، مقادیر IC_{50} از ۷۶۳/۱۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به ۵۷۱/۱۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر کاهش یافت که نشان‌دهندهٔ افزایش فعالیت ضدرادیکالی این محصول می‌باشد. فرایند برشته‌کردن موجب تولید ترکیبات مختلفی ازقبیل ملانوییدین می‌شود که این ترکیب به‌دلیل ساختار ردوکتانی و کتچولی موجب القای خاصیت ضدرادیکالی می‌شود (Baba *et al*., 2016). بنابراین می‌توان نتیجه‌گرفت که افزایش فعالیت ضدرادیکالی می‌تواند به‌دلیل تولید آنتی‌اکسیدان‌های حاصل از واکنش میلارد باشد.

Lee و همکاران (۲۰۱۳؛ ۲۰۱۵) نیز بالاترین فعالیت آنتی‌آکسیدانی، بیشتربن میزان ترکیبات فنولی و ترکیبات فلاونوئیدی را منطبق بر بیشترین میزان ترکیبات حاصل از واکنش میلارد در برشته‌کردن سویا در دمای ۲۰۰ درجه و زمان ۱۵ دقیقه گزارش نمودند (Lee *et al*., 2013; Lee *et al*., 2015). پژوهشگران توصیه نمودند درصورتی‌که هدف استفاده از آرد سویای برشته در محصول نهایی، صرفاً درنظرگرفتن فعالیت آنتی‌اکسیدانی باشد، بیشترین دما و زمان برشته‌کردن مورداستفاده قرار گیرد (Sahin *et al*., 2009; Lee *et al*., 2013; 2015).

جدول ۷ - اثر زمان فرایند برشته‌کردن بر فعالیت ضدرادیکالی و مقدار فنول در آرد سویای برشته‌شده

زمان برشته‌کردن (دقیقه)	DPPH (IC_{50}) (میکروگرم بر میلی‌لیتر)	فنول کل (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	فلاونوئید کل (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)
۰	۷۶۳/۱۱±۲۳^{a}	۳۰/۰۸±۱/۳۹^{d}	۳/۵۱±۰/۱۷^{d}
۴	۷۱۹/۱۴±۲۳^{a}	۳۰/۶۳±۱/۱۱^{cd}	۳/۶۹±۰/۳۱^{d}
۶	۶۶۷/۰۹±۱۹^{b}	۳۳/۱۱±۱/۱۳^{c}	۴/۰۷±۰/۲۰^{c}
۸	۶۵۴/۸۷±۴۷^{b}	۳۶/۷۴±۰/۹۸^{b}	۴/۶۳±۰/۱۷^{b}
۱۰	۶۳۹/۷۷±۳۹^{b}	۳۹/۶۵±۱/۸۶^{a}	۵/۱۵±۰/۱۳^{a}
۱۲	۵۷۱/۱۱±۱۳^{c}	۳۹/۳۶±۲/۲۴^{a}	۵/۲۴±۰/۳۱^{a}

*تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

ارزیابی حسی آردهای برشته

نتایج آزمون ارزیابی حسی نمونه‌ها (جدول ۸) نشان داد که زمان برشته‌کردن به‌طور معنی‌داری بر کیفیت آردهای سویای برشته‌شده تأثیرگذار است (P<۰/۰۵). در مقایسهٔ پارامتر رنگ، بالاترین امتیاز به نمونهٔ شاهد تعلق گرفت و بیشترین شباهت به نمونهٔ شاهد مربوط به آرد سویای برشته‌شده برای مدت زمان ۱۰ دقیقه بود، پس از آن نمونهٔ آرد سویای برشته‌شده برای ۸ دقیقه، با اختلاف جزئی در رتبهٔ بعدی قرار گرفت. در بررسی پارامتر بو مشخص گردید که نمونهٔ آرد سویای برشته‌شده برای ۶ و ۸ دقیقه اختلاف معنی‌داری با هم نداشته (P>۰/۰۵) و در میان نمونه‌های آرد سویای برشته‌شده نزدیک‌ترین نتایج را نسبت به پودر کاکائو به خود اختصاص دادند. هر دو سطح بالا و پایین زمان برشته‌کردن با اثرات منفی بر کیفیت حسی ارزیابی‌شده توسط گروه ارزیاب همراه بود؛ به‌طوری‌که آردهای سویای برشته‌شده برای ۴ و ۶ دقیقه به‌خاطر بوی آجیلی سویا در زمان‌های کوتاه برشته‌کردن و

پس از آن نمونهٔ برشته‌شده برای ۱۲ دقیقه به‌علت برشته‌شدن زیاد و توسعهٔ بوی سوختگی کمترین امتیاز را گرفتند. در بررسی طعم نمونه‌ها، آرد سویای برشته‌شده برای مدت ۸ دقیقه با امتیاز ۷/۱ نزدیک‌ترین نمونه به پودر کاکائو با امتیاز ۶/۹ بود. در مجموع، امتیاز ثبت‌شده برای پذیرش کلی نمونه‌ها نشان داد آرد سویای برشته‌شده برای مدت ۸ دقیقه با عدد ۷، شبیه‌ترین نمونه به پودر کاکائو و مطلوب‌ترین نمونه در میان موارد موردآزمون می‌باشد ($P<۰/۰۵$). Yousif و Alghzawi (۲۰۰۱) مطلوب‌ترین و شبیه‌ترین نمونه به پودر کاکائو را پودر خرنوب برشته‌شده در دمای ۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد برای مدت ۶۰ دقیقه معرفی کردند (Yousif & Alghzawi, 2000).

جدول ۸ - نتایج ارزیابی حسی آردهای سویای برشته‌شده در مقایسه با شاهد

زمان برشته‌کردن (دقیقه)	رنگ	بو	طعم	پذیرش کلی
شاهد (کاکائو)	۶/۵±۱/۴^{a}	۷/۱±۱/۴^{a}	۶/۹±۱/۳^{a}	۶/۸±۱/۰^{a}
۴	۳/۳±۲/۰^{c}	۴/۵±۱/۸^{e}	۵/۴±۲/۰^{c}	۵/۰±۱/۵^{c}
۶	۳/۴±۱/۷^{c}	۵/۱±۱/۶^{d}	۵/۵±۱/۶^{c}	۵/۲±۱/۵^{c}
۸	۵/۸±۱/۸^{b}	۶/۶±۱/۰^{b}	۷/۱±۰/۷^{a}	۷/۰±۰/۹^{a}
۱۰	۶/۳±۱/۲^{a}	۶/۴±۱/۲^{c}	۶/۱±۱/۷^{b}	۶/۱±۱/۷^{b}
۱۲	۵/۸±۱/۸^{b}	۵/۵±۱/۴^{c}	۴/۵±۲/۵^{cd}	۴/۴±۲/۲^{d}

*تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش زمان برشته‌کردن سویا تا زمان ۸ دقیقه و انجام واکنش قهوه‌ای‌شدن میلارد که همراه با تغییر در رنگ و پروفایل عطروطعم می‌باشد، می‌توان از این ترکیب در سیستم‌های غذایی که موارد فوق مطلوب است، به‌عنوان جایگزین‌های کاکائو و قهوه استفاده نمود. آرد سویای برشته‌شده به‌دلیل دارابودن خواص آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای مطلوب، خواص عملکردی مناسب و ویژگی‌های حسی قابل‌قبول، پتانسیل استفاده به‌عنوان پودر جایگزین یا حجم‌دهندهٔ کاکائو را در محصولات مختلف با عملکردهای متفاوت نظیر حفظ عطروطعم، جذب آب، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تهیهٔ انواع محصولات نظیر شکلات و فراورده‌های شکلاتی را داراست. پایین‌بودن فعالیت آبی در نمونهٔ تازه و نمونه‌های برشته‌شده در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد که این محصول در مقابل بسیاری از فسادهای میکروبی و آنزیمی مقاوم است. بالابودن ظرفیت نگهداری روغن در آرد سویای برشته آن را به پودری با پتانسیل تغذیه‌ای نسبتاً بالا برای نگهداری طعم در سیستم‌های غذایی که به ظرفیت جذب روغن بالا نیاز دارند، تبدیل می‌کند. به‌دلیل افزایش فعالیت ضدرادیکالی و مقدار فنول کل در نمونه‌های سویا طی زمان برشته‌کردن، حداکثر زمان برشته‌کردن ازنظر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی توصیه می‌گردد. مقادیر به‌دست‌آمده برای پارامترهای جریان‌پذیری زاویهٔ ریپوز، نسبت هاسنر اندیس تراکم‌پذیری کار نشان داد که آرد سویای برشته دارای جریان‌پذیری مناسبی نیست و بنابراین در استفاده‌های صنعتی می‌توان از ترکیبات اصلاح‌کنندهٔ جریان کمک گرفت. نتایج حاصل از آنالیز حرارتی نشان داد که آرد سویای برشته‌شده دارای پایداری حرارتی بالایی می‌باشد و ازاین‌رو، انتظار می‌رود که آرد سویای برشته را بتوان در فرمولاسیون مواد غذایی که در فرایند تولید آنها به دماهای بالایی نیاز است، استفاده نمود. نتایج ارزیابی حسی پارامترهای رنگ، بو و طعم، آرد سویای برشته‌شده برای مدت ۸ دقیقه در دمای ۱۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد را جایگزین مناسبی برای پودر کاکائو نشان دادند.

قدردانی

برخودلازم‌می‌دانیم مراتب قدردانی خود را از همکاری صمیمانه آقای مهندس رئیسی و آقای دکتر مهدویان‌مهر در شرکت قهوه پارت‌سازان (مولتی کافه)، در انجام برخی از بخش‌های این پژوهش اعلام نماییم.

منابع

1- Alvarado, J.D., & Aguilera, J.M. 2001. Methods for measuring physical properties in food industries. Edited by Acribia. S.A.

2- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A.L., & O'Mahony, J.A. 2016. Physical and flow properties of rice protein powders. Journal of Food Engineering, 190:1-9.

3- Anderson, J.W., & Major, A.W. 2002. Pulses and lipaemia, short-and long-term effect: potential in the prevention of cardiovascular disease. British Journal of Nutrition, 88(S3):263-271.

4- Anderson, K.A. 1996. Micro-digestion and icp-aes analysis for the determination of macro and micro elements in plant tissues. Atomic Spectroscopy, 17(1):30-33.

5- AOAC. 2003. Official methods of analysis. 17th Edition, The Association of official analytical chemists, 2nd revision. Gaithersburg, MD, USA. Methods 925.10, 945.39, 942.05 and 920.87.

6- Arjmandi, B.H., & Smith, B.J. 2002. Soy isoflavones' osteoprotective role in postmenopausal women: mechanism of action. The Journal of Nutritional Biochemistry, 13(3):130-137.

7- Aulton, M.E., & Taylor, K.M. 2013. Aulton's pharmaceutics: the design and manufacture of medicines. Elsevier Health Sciences.

8- Baba, W.N., Rashid, I., Shah, A., Ahmad, M., Gani, A., Masoodi, F., Wani, I.A., & Wani, S. 2016. Effect of microwave roasting on antioxidant and anticancerous activities of barley flour. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 15(1):12-19.

9- Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. 2005. Bulk properties. Food Powders: Physical Properties, Processing and Functionality. P. 55-90. Food Engineering Series. Springer.

10- Bekedam, E.K., Schols, H.A., Caemmerer, B., Kroh, L. W., van Boekel, M.A.J.S., & Smit, G. 2008. Low molecular weight melanoidins in coffee brew. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 56(11):4060-4067.

11- Bhathena, S.J., & Velasquez, M.T. 2002. Beneficial role of dietary phytoestrogens in obesity and diabetes. The American Journal of Clinical Nutrition, 76(6):1191-1201.

12- Blois, M. 1958. Antioxidant determination by use of free radical stable. Nature, 181:1191-1201.

13- Borrelli, R.C., Visconti, A., Mennella, C., Anese, M., & Fogliano, V. 2002. Chemical characterization and antioxidant properties of coffee melanoidins. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50(22):6527-6533.

14- Carr, R. L, 1965. Evaluating flow properties of solids. Chemical Engineering, 18:163-168.

15- Chen, J.K., Chen, T.T., & Crampton, L. 2004. Chinese medical herbology and pharmacology. Art of Medicine Press City of Industry, CA, 1267.

16- Cuvelier, M. E., Richard, H., & Berset, C. 1992. Comparison of the antioxidative activity of some acid-phenols: structure-activity relationship. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 56(2):324-325.

17- Del Castillo, M.D., Ames, J.M., & Gordon, M.H. 2002. Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50(13):3698-3703.

18- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., & Liu, R.H., 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50(10):3010-3014.

19- Díaz-Batalla, L., Widholm, J.M., Fahey, G.C., Castaño-Tostado, E., & Paredes-López, O. 2006. Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agriculture and Food Chemistry, 54(6):2045-2052.

20- Hausner, H.H. 1967. Friction conditions in a mass of metal powder. International Journal of Powder Metall, 3(4):7-13.

21- Fallico, B., Arena, E., & Zappala, M. 2003. Roasting of hazelnuts. Role of oil in colour development and hydroxymethylfurfural formation. Food Chemistry, 81(4):569-573.

22- Fitzpatrick, J.J., Barringer, S.A., & Iqbal, T. 2004a. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. Journal of Food Engineering, 61(3):399-405.

23- De Freitas Eduardo, M., & da Silva Lannes, S.C. 2007. Use of texture analysis to determine compaction force of powders. Journal of Food Engineering, 80(2):568-572.

24- Hwang, H., Hartman, T.G., & Ho, C. 1995. Relative reactivities of amino acids in pyrazine formation. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 43(1):179-184.

25- Jaramillo-Flores, M.E., González-Cruz, L., Cornejo-Mazon, M., Dorantes-Alvarez, L., Gutierrez-Lopez, G.F., & Hernandez-Sanchez, H. 2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (opuntia ficus-indica). Food Science and Technology International, 9(4):271-278.

26- Jayaprakasha, G.K., Girennavar, B., & Patil, B.S. 2008. Radical scavenging activities of Rio Red grapefruits and sour orange fruit extracts in different *in vitro* model systems. Bioresource Technology, 99(10):4484-4494.

27- Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J., & Tananuwong, K. 2008. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. Food Chemistry, 110(1):23-30.

28- Kim, H.G., Kim, G.W., Oh, H., Yoo, S.Y., Kim, Y.O., & Oh, M.S., 2011. Influence of roasting on the antioxidant activity of small black soybean (glycine max l. merrill). LWT-Food Science and Technology, 44(4):992-998.

29- Kim, E.H.J., Chen, X.D., & Pearce, D. 2005. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 46(3):182-187.

30- Kim, M.-J., & Kim, K.-S. 2005. Functional and chemical composition of Hwanggumkong, yakong and huktae. Korean Journal of Food and Cookery Science, 21(6):844-849.

31- Kornsteiner, M., Wagner, K.H., & Elmadfa, I. 2006. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. Food Chemistry, 98(2):381-387.

32- Kumar, V., Kothari, S.H., & Banker, G.S. 2001. Compression, compaction, and disintegration properties of low crystallinity celluloses produced using different agitation rates during their regeneration from phosphoric acid solutions. AAPS Pharmacutical Science and Technology, 2(2):22-28.

33- Kumazawa, S., Taniguchi, M., Suzuki, Y., Shimura, M., Kwon, M.S., & Nakayama, T. 2002. Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(2):373-377.

34- Lee, J.H., Hwang, C.E., Lee, B.W., Kim, H.T., Ko, J.M., Baek, I.Y., Ahh, M.J., Lee, H.Y., & Cho, K.M. 2015. Effects of roasting on the phytochemical contents and antioxidant activities of korean soybean (glycine max l. merrill) cultivars. Food Science and Biotechnology, 24(5):1573-1582.

35-Lee, J.H., Lee, B.W., Kim, B., Kim, H.T., Ko, J.M., Baek, I.Y., Seo, W.T., Kang, Y.M., & Cho, K.M. 2013. Changes in phenolic compounds (isoflavones and phenolic acids) and antioxidant properties in high- protein soybean (*glycine max* l., cv. saedanbaek) for different roasting conditions. Journal of Korean Society for Applied Biological Chemistry, 56(5):605-612.

36-Lee, S., & Lee, J. 2009. Effects of oven-drying, roasting, and explosive puffing process on isoflavone distributions in soybeans. Food Chemistry, 112(2):316-320.

37-Lee, K.G., & Shibamoto, T. 2002. Toxicology and antioxidant activities of non-enzymatic browning reactions products. Food Review International, 18(2-3):151-175.

38-Lemos, M.R.B., de Almeida-Siqueira, E.M., Arruda, S.F., & Zambiazi, R.C. 2012. The effect of roasting on the phenolic compounds and antioxidant potential of baru nuts [*dipteryx alata* vog.]. Food Research International, 48(2):592-597.

39-Li, H., Wang, X., Li, Y., Li, P., & Wang, H. 2009. Polyphenolic compounds and antioxidant properties of selected china wines. Food Chemistry, 112(2):454-460.

40-Lima, A.R., Pereira, R.G.F.A., Abrahão, S.A., Duarte, S.M.D.S., & Paula, F.B.D.A. 2010. Coffee bioactive compounds: *in vitro* antioxidant activity of green and roasted coffees before and after decaffeination. Química Nova, 33(1):20-24.

41-Liu, L.X., Marziano, I., Bentham, A.C., Litster, J.D., White, E.T., & Howes, T. 2008. Effect of particle properties on the flowability of ibuprofen powders. International Journal of Pharmaceutics, 36(1-2):109-117.

42-Mcleod, G., & Forcen, M., 1992. Analysis of volatile components derived from the carob bean *ceratonia siliqua*. Phytochemistry, 31(9):3113-3119.

43-Maillard, M.N., Soum, M.H., Boivin, P., & Berset, C. 1996. Antioxidant activity of barley and malt: relationship with phenolic content. LWT-Food science and Technology, 29(3):238-244.

44-Martínez, R., Torres, P., Meneses, M.A., Figueroa, J.G., Pérez-Álvarez, J.A., & Viuda-Martos, M., 2012. Chemical, technological and *in vitro* antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. Food Chemistry, 135(3):1520-1526.

45-Meursing, E.H. 1983. Cocoa powder for industrial processing 3rd ed. P. 126. Dezaen B.V: The Netherlands Cocoa Fabriek.

46-Mhaisen, A. 1991. Carob tree. Agricultural Engineer, 43:90-91.

47-Muzaffar, Kh., & Kumar, P. 2016 .Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. Powder Technology, 291:322-327.

48-Narayana, K., & Rao, M.N. 1984. Effect of partial proteolysis on the functional properties of winged bean (*psophocarpus tetragonolobus*) flour. Journal of Food Science, 49(3):944-947.

49-Ndidi, U.S., Ndidi, C.U., Olagunju, A., Muhammad, A., Billy, F.G., & Okpe, O. 2014. Proximate, antinutrients and mineral composition of raw and processed (boiled and roasted) *Sphenostylis stenocarpa* seeds from southern kaduna, northwest nigeria. ISRN Nutrition, 2014: 1-9.

50-Nicoli, M.C., Anese, M., & Parpinel, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. Trends in Food Science & Technology, 10(3):94-100.

51-Nicoli, M.C., Anese, M., Manzocco, L., & Lerici, C.R. 1997. Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. LWT-Food Science and Technology, 30(3):292-297.

52-Oboh, G., Ademiluyi, A.O., & Akindahunsi, A.A. 2010. The effect of roasting on the nutritional and antioxidant properties of yellow and white maize varieties. International Journal of Food Science & Technology, 45(6):1236-1242.

53-Odoemelam, S.A. 2005. Functional properties of raw and heat processed jackfruit (*artocarpus heterophyllus*) flour. Pakistan Journal of Nutrition, 4(6):366-370.

54-Olatidoye, O.P., Sobowale, S.S., Akinlotan, J.V., & Olorode, O.O. 2011. Chemical composition and physicochemical characteristics of tropical Almond nuts (*Terminalia Catappia* L) cultivated in South West Nigeria. Journal of Medical and Applied Biosciences, 1(1):1-10.

55-Oliveira, S.R., Taveira, S.F., Marreto, R.N., Valadares, M.C., Diniz, D.G.A., & Lima, E.M. 2013. Preparation and characterization of solid oral dosage forms containing soy isoflavones. Revista Brasileira de Farmacognosia, 23(1):175-182

56-Petit, M.D., & Pinilla, J.M. 1995. Production and purification of a sugar syrup from carob pods. LWT - Food Science and Technology, 28(1):145-152.

57-Rakić, S., Povrenović, D., Tešević, V., Simić, M., & Maletić, R. 2006. Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food. Journal of Food Engineering, 74(3):416-423.

58-Randhir, R., Kwon, Y-I., & Shetty, K. 2008. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 9(3):355-364.

59-Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., & Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. Free Radical Biology and Medicine, 20(7):933-956.

60-Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., & Mastrocola, D. 2009. Effect of roasting degree, equivalent thermal effect and coffee type on the radical scavenging activity of coffee brews and their phenolic fraction. Journal of Food Engineering, 90(1):74-80.

61-Sahin, H., Topuz, A., Pischetsrieder, M., & Ozdemir, F. 2009. Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. European Food Research and Technology, 230(1):155.

62-Shah, R.B., Tawakkul, M.A., & Khan, M.A. 2008. Comparative Evaluation of flow for pharmaceutical powders and granules. AAPS Pharmacutical Science and Technology, 9(1):250-258.

63-Sharma, P., & Gujral, H.S. 2011. Effect of sand roasting and microwave cooking on antioxidant activity of barley. Food Research International, 44(1):235-240.

64-Singleton, V.L., & Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American journal of Enology and Viticulture, 16(3):144-158.

65-Teunou, E., Fitzpatrick, J.J., & Synnott, E.C. 1999. Characterisation of food powder flowability. Journal of Food Engineering, 39(1):31-37.

66-The International Cocoa Organization (ICCO). Visited in October 17, 2017. Production, Grindings, Supply & Demand Statistics 2014. Available onlilie at: http://www.icco.org/statistics/production-and-grindings/production.html.

67-Turan, D., Capanoglu, E., & Altay, F. 2015. Investigating the effect of roasting on functional properties of defatted hazelnut flour by response surface methodology (RSM). LWT-Food Science and Technology, 63(1):758-765.

68-Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y.S., 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chemistry, 93(4):713-718.

69- Vissotto, F.Z., Jorge, L.C., Makita, G.T., Rodrigues, M.I., & Menegalli, F.C. 2010. Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. Journal of Food Engineering, 97(3):283-291.

70- Wang, Y., Chung, D.S., & Spillman, C.K. 1995. Physical Properties of Soybean Meal. Cereal Chemistry, 72(6):523-526.

71- World Cocoa Foundation (WCF).Visited in October 17, 2017. Cocoa Market Update. Available onlilie at: http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/Cocoa-Market-Update-as-of-4-1-2014.pdf

72- Xu, B.J., & Chang, S.K.C. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. Journal of Food Science, 72(2):159-166.

73- Yağcı, S., & Göğüş, F. 2008. Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. Journal of Food Engineering, 86(1):122-132.

74- Yousif, A.K., & Alghzawi, H.M. 2000. Processing and characterization of carob powder. Food Chemistry, 69(3):283-287.

75- Yu, J., Ahmedna, M., & Goektepe, I. 2007. Peanut protein concentrate: production and functional properties as affected by processing. Food Chemistry, 103(1):121-129.

76- Zyzelewicz, D., Krysiak, W., Nebesny, E., & Budryn, G. 2014. Application of various methods for determination of the color of cocoa beans roasted under variable process parameters. European Food Research and Technology, 238(4):549-563.

Investigating the Effect of Roasting Time on Some Physicochemical, Technological, Flowability, Antioxidant and Sensory Properties of Roasted Soybean Flours as Cocoa Substitute

Elham Zayerzadeh[1], Mostafa Mazaheri Tehrani[2*], Samira Yeganehzad[3], Mohebbat Mohebbi[2]

1- Ph.D Candidate, Food Science and Technology Department, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
2- Professor, Food Science and Technology Department, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
* Corresponding author (mmtehrani@um.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

Abstract

Considering the importance of finding suitable substitute for cocoa powder, the effect of roasting process on physicochemical characteristics (pH, a_w, WHC, OHC and colour parameters), compositional properties, some physical and thermal features (particle size, bulk & tapped densities, porosity, Hausner ratio, Carr index, repose angle and DSC); antioxidant characteristics and sensory properties of roasted soybean were investigated. The soybean samples roasted at 165 °C for 4, 6, 8, 10 and 12 min, then milled and sieved (No.40). Nutritional elements, Mg, Na, Ca, Zn, Cu and Fe increased during roasting. Repose angle, a_w and moisture content decreased by increasing roasting time. Hausner ratio and Carr index of raw soybean flour were 33.3 and 1.51 respectively, they decreased to 28.73 and 1.40 after roasting for 12min. Study showed that raw soybean flour had a weak flowability. L* as a time-temperature index at roasting process of foods (like coffee and cocoa) decreased by increasing time. Antioxidant activity results suggested that antiradical activity and total phenol content of roasted soybean flours increased by roasting time and a significant correlation between these two items were observed (P<0.05). DSC analysis showed that flours had a high thermal resistance. Sensory properties evaluation showed that soybean flour roasted for 8 min, had a comparable total acceptance to cocoa powder.

Keywords: Cocoa Substitute, Physical Properties, Roasting, Sensory Properties, Soy Flour

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۲۱۲-۱۹۷

JRIFST

بررسی اثر جایگزینی آرد سویا و عدس بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی دونات تخمیری

ماندانا خورسند[۱]، مجید علی‌آبادی[۲*]، جلیل جراحی فریز[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیرجند، بیرجند، ایران
۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیرجند، بیرجند، ایران
* نویسندهٔ مسئول (m.aliabadi@iaubir.ac.ir)
۳- استادیار، گروه آمار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵

واژه‌های کلیدی
آرد سویا
آرد عدس
خصوصیات فیزیکوشیمیایی
دونات
سرخ‌کردن عمیق

چکیده

دونات یک نوع اسنک سرخ‌شدهٔ شیرین است که به‌عنوان میان‌وعده از آن استفاده می‌شود. کیفیت دونات سرخ‌شده به ظاهر (رنگ، شکل و درخشندگی)، عطروطعم، بافت و ارزش تغذیه‌ای آن بستگی دارد. در این پژوهش مقدار صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد آرد سویا و آرد عدس جایگزین آرد گندم در نمونه‌های دونات شد و تأثیر آن بر عوامل مؤثر بر کیفیت دونات مثل رنگ، بافت، تخلخل، حجم، میزان رطوبت و میزان روغن طی زمان سرخ‌کردن (۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه) موردبررسی قرار گرفت. در پایان نیز ارزیابی حسی به‌منظور تعیین تأثیر آرد سویا و آرد عدس بر پذیرش دونات ازنظر مصرف‌کنندگان، انجام شد. نتایج نشان داد جایگزینی آرد سویا و آرد عدس موجب کاهش ازدست‌دادن رطوبت و جذب روغن و همچنین کاهش حجم، تخلخل و روشنایی در نمونه‌ها نسبت به نمونهٔ شاهد گردید. ۳۰ درصد آرد سویا در فرمولاسیون دونات توانست ۲۰ درصد حفظ رطوبت را افزایش و ۱۰ درصد جذب روغن را کاهش دهد. در طی مدت زمان سرخ‌کردن نیز *a افزایش یافت که در نمونه‌های حاوی آرد سویا این پارامتر به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر نمونه‌ها بود. نتایج آزمون حسی نشان داد که نمونهٔ حاوی ۱۵ درصد آرد سویا امتیاز پذیرش کلی بیشتری ازنظر ارزیابان حسی داشت.

مقدمه

دونات یکی از محصولات شیرین صنعت پخت می‌باشد که ازطریق سرخ‌کردن عمیق تهیه می‌شود که به‌عنوان میان‌وعده مورداستفاده قرار می‌گیرد. خوشمزگی و پرانرژی‌بودن این محصول باعث‌شده در بین محصولات شیرین حاصل از آرد گندم بسیار موردتوجه باشد. این شیرینی سرخ‌شده دارای دو قسمت اصلی پوسته و بخش داخلی می‌باشد. پوسته در تماس مستقیم با روغن داغ قرار می‌گیرد بنابراین دارای بیشترین جذب روغن و دفع رطوبت می‌باشد. رنگ پوسته، طلایی تا قهوه‌ای است. بخش داخلی نیز همانند فراورده‌های مشابه در طول سرخ‌شدن ژلاتینه می‌شود و رنگ آن سفید است (Tan & Mittal, 2006؛ ذوالفقاری، ۱۳۸۹). سرخ‌کردن عمیق[۱] در دنیا به‌صورت گسترده‌ای به‌عنوان یک فرایند مهم فراوری مواد غذایی مورداستفاده قرار می‌گیرد و در سال‌های اخیر سرخ‌کردن به یکی از پر رشدترین فرایندهای مورداستفاده در صنعت غذاهای آماده تبدیل شده است که سالانه میلیاردها دلار سود اقتصادی دارد

[1] Deep-Fat Frying

(Sahin & Sumnu, 2010). در این فرایند مادۀ غذایی در روغن داغ غوطه‌ورشده و به‌علت دمای بالای روغن و هدایت حرارتی آن به سرعت پخته می‌شود (Dogan *et al*., 2005).

در فرایند سرخ‌شدن و در اثر خروج رطوبت فضاهای خالی مادۀ غذایی و تخلخل آن افزایش‌یافته و روغن از راه همین فضاهای خالی وارد مادۀ غذایی می‌شود (علی‌پور و همکاران، ۱۳۸۸؛ Sahin & Sumnu, 2010). تبخیر شدید رطوبت از سطح مادۀ غذایی منجربه تشکیل لایۀ آب‌گیری‌شده می‌گردد که به‌تدریج به سمت مرکز حرکت کرده و پوسته را به‌وجود می‌آورد. دمای درونی محصول کمتر از ۱۰۰ درجۀ سانتی‌گراد است اما همین دما برای واسرشته‌شدن اغلب پروتئین‌ها و ژلاتینه‌شدن نشاسته کفایت می‌کند و در اثر تغییرات ذکرشده ساختار مادۀ غذایی پس از سرخ‌شدن شکل جدیدی می‌یابد. واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی نیز در هنگام سرخ‌شدن توسعه می‌یابند و باعث گسترش رنگ قهوه‌ای و تجمع ترکیبات مولد عطروطعم می‌گردند (Pedreschi *et al*., 2006).

دونات در آمریکا بزرگ‌ترین صنعت صبحانه در بین محصولات شیرین حاصل از گندم، به‌خوداختصاص داده است و پس از محصولات سیب‌زمینی، بیشترین مصرف را در بین اسنک‌ها دارد. بااین‌حال میزان روغن در مواد غذایی سرخ‌شده ممکن است به ۵۰ درصد وزن کل مادۀ غذایی برسد (Dogan *et al*., 2005). ازنظر تغذیه‌ای مصرف این مقدار چربی ممکن است باعث ایجاد بیماری‌هایی مثل افزایش فشارخون، کلسترول خون، چاقی و بیماری‌های قلبی -عروقی شود و ازطرف‌دیگر، چربی بیشتر در مادۀ غذایی سرخ‌شده، قیمت محصول را نیز افزایش می‌دهد (ذوالفقاری، ۱۳۸۹؛ امیریوسفی، ۱۳۸۹).

مطالعه‌های زیادی درزمینۀ کاهش جذب روغن طی فرایند سرخ‌کردن انجام شده است. برخی از روش‌های کاهش جذب روغن شامل: تغییر روش‌های سرخ‌کردن، اصلاح محیط سرخ‌کردن، استفاده از روش‌های خارج‌کردن روغن پس از سرخ‌کردن (Ziaiifar *et al*., 2008) و استفاده از پیش‌فرایندهای سرخ‌کردن، خمیرها و پوشش‌هاست. از دیگر روش‌های کاهش جذب روغن تغییر در فرمولاسیون مادۀ غذایی است. حبوبات یکی از ترکیباتی می‌باشند که به‌دلیل خصوصیات چندگانه و متنوع کاهش جذب روغن در محصولات سرخ‌شده مورداستفاده قرار می‌گیرند (شکرالهی یانچشمه و همکاران، ۱۳۹۲). حبوبات حاوی پروتئین بالایی هستند (۳۲-۱۸ درصد). خصوصیات عملکردی پروتئین‌های حبوبات مثل نگهداری آب، اتصال به چربی و ایجاد ژل، می‌تواند استفادۀ بالقوه از آنها را در پیشبرد انواع مختلفی از مواد غذایی گسترش دهد (Bamdad *et al*., 2009).

سویا یکی از اعضای خانوادۀ حبوبات می‌باشد. دانۀ سویا پروتئین[1] و لیزین[2] فراوانی دارد. مصرف سویا به‌عنوان یک منبع پروتئینی در آسیا تاریخچه‌ای طولانی دارد. FAO[3] سویا را در دستۀ دانه‌های روغنی قرار داده است. سویا پس از چربی‌گیری به ۳ نوع فراوردۀ دارای پروتئین بالا تبدیل می‌گردد که شامل آرد سویا، کنسانتره و ایزولۀ پروتئین سویا می‌باشد. سویا یکی از حبوباتی است که خواص تغذیه‌ای و حتی درمانی شگفت‌انگیزی دارد. پروتئین‌های موجود در سویا شامل اسیدهای آمینۀ ضروری می‌باشند (موسوی‌نسب و همکاران، ۱۳۸۷). به‌دلیل محدودیت پروتئین گندم ازنظر اسیدهای آمینه لیزین و متیونین[4]، آرد سویا مکمل مناسبی برای آرد گندم بشمار می‌رود. سویا حاوی مقادیر قابل‌توجهی از املاح معدنی شامل کلسیم، آهن، سدیم، پتاسیم، روی و فسفر است (موسوی‌نسب و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از پروتئین سویا در فراورده‌های حاصل از آرد گندم علاوه‌بر خواص تغذیه‌ای، بر کیفیت آنها نیز تأثیر می‌گذارد.

عدس نیز با نام علمی *لنس کولیناریس*[5]، از قدیمی‌ترین منابع غذایی است و مثل سایر حبوبات، بسیار مغذی بوده و غنی از املاح است. عدس با دارابودن ۲۵ درصد پروتئین، ۵۶ درصد کربوهیدرات و ۱ درصد چربی به‌عنوان یک منبع باارزش و ارزان‌قیمت پروتئین است و برخلاف سایر حبوبات،

[1] Soybean Seed
[2] Lysine
[3] Food And Agricultural Organization
[4] Methionine
[5] *Lens Culinaris*

عوامل سمی و ضدتغذیه‌ای کمی در آن گزارش شده است (Bamdad *et al*., 2009). خصوصیات عملکردی پروتئین‌های آن مثل نگهداری آب، اتصال به چربی و ایجاد ژل، موجب افزایش استفادهٔ بالقوهٔ آن در انواع مختلفی از مواد غذایی شده است (Bamdad *et al*., 2009). مصرف منظم عدس به کاهش کلسترول، سرطان روده و دیابت نوع ۲ کمک می‌کند.

ذوالفقاری (۱۳۸۹) تأثیر نوع پوشش هیدروکلوئیدی و افزودن آرد سویا بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی دونات را موردمطالعه قرار داد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که استفاده از آرد سویا در فرمولاسیون دونات میزان رطوبت و روغن آن را تغییر نداد ولی حجم محصول را کاهش داد.

قیطران‌پور (۱۳۹۲) اثر ایزولهٔ پروتئین سویا بر نمونه‌های دونات و تأثیر آن بر عوامل مؤثر در کیفیت دونات مثل رنگ، بافت، تخلخل، حجم و میزان روغن طی زمان سرخ‌کردن و نگهداری موردبررسی قرار داد.

باتوجه‌به مضرات بالابودن درصد روغن در فراورده‌های سرخ‌شده و غنی‌سازی محصولات آردی با حبوبات به‌منظور بهبود میزان پروتئین و املاح معدنی، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر افزودن آرد سویا و عدس در سطوح صفر، ۱۵و ۳۰ درصد بر میزان جذب روغن، دفع رطوبت، ویژگی‌های فیزیکی و حسی دونات انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

مواد موردنیاز برای تولید خمیر دونات شامل آرد گندم (صنایع آرد گلبرگ)، شیر خشک، نمک (شرکت دردانه)، صمغ زانتان (سیگما)، وانیل، شکر (شرکت لادن)، خمیرمایه (شرکت خمیرمایه رضوی)، بیکینگ‌پودر (ضامن، شرکت اطمینان هدف طوس)، کره (شرکت لبنیات پاستوریزهٔ پاک)، تخم‌مرغ (تلاونگ)، شکر (لادن، شرکت صنعتی بهشهر)، وانیل و آبلیمو (یک‌ویک) تهیه شد. حلال هگزان (شرکت مجللی) و آرد سویا و عدس (شرکت کاهر) خریداری گردید. از روغن گیاهی بدون موم نینا برای سرخ‌کردن نمونه‌های دونات استفاده شد.

تولید دونات

ابتدا مواد خشک مورداستفاده شامل آرد (۵۰۰ گرم)، شیر خشک (۲۰ گرم)، نمک، زانتان، وانیل پس از ۱ ساعت نگهداری در دمای اتاق با هم مخلوط‌شده و سپس با استفاده از الک با مش ۱۰ الک شدند. سایر افزودنی‌ها (خمیرمایه (۱۲ گرم)، کره (۸۰ گرم)، تخم‌مرغ (۱۰۰ گرم) و شکر (۸۰ گرم) به آب (۱۰۰ میلی‌لیتر) اضافه و به مدت ۱ دقیقه با استفاده از همزن خانگی (کاتامو ۹۷۶۴۵۵۲، ساخت ژاپن) هم‌زده شد. مواد خشک پس از الک‌شدن به مواد مایع اضافه شد و سپس به مدت ۵ دقیقه با خمیرگیر (Huger مدل HG550TMEM، ساخت ایران) ورز داده شد تا خمیری یکنواخت و نرم به‌دست آید (قیطران‌پور، ۱۳۹۲).

به‌منظور بررسی تأثیر افزودن آرد سویا و آرد عدس (جدول ۱) بر ویژگی‌های دونات، نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از مخلوط این آردها با صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد جایگزینی با آرد گندم تولید شد. خمیر تهیه‌شده با استفاده از وردنه به ضخامت تقریبی ۱ سانتی‌متر پهن شد. برای اطمینان از یکنواختی ضخامت خمیر، قسمت‌های مختلف آن با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. خمیر دونات با استفاده از قالب‌هایی با قطر خارجی ۷/۵ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱ سانتی‌متر قالب‌زنی شد.

در ادامه کاغذ روغنی روی سینی‌های آون قرار گرفت سپس روی آنها مقداری آرد پاشیده شد. برش‌های خمیر پس از قالب‌زنی روی این کاغذها گذاشته شدند و سطح بالایی آنها به‌منظور جلوگیری از خشک‌شدن در مدت گرم‌خانه‌گذاری، با آب‌پاش مرطوب شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در آون با دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند.

در انتها، سرخ‌کردن دونات در دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد و در بازه‌های زمانی صفر، ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه صورت گرفت. فرایند سرخ‌شدن به روش امیریوسفی (۱۳۸۹) انجام گرفت.

جدول ۱ - درصد ترکیبات شیمیایی (برمبنای وزن خشک) آرد گندم، سویا و عدس

نوع آرد	رطوبت (درصد)	پروتئین (درصد)	چربی (درصد)	خاکستر (درصد)
آرد گندم	۱۱	۱۱/۶	۱/۷۵	۰/۸۵
آرد عدس	۷	۲۶	۲	۲
آرد سویا	۶	۴۱	۴/۵	۵/۵۰

اندازه‌گیری محتوای رطوبتی

جهت اندازه‌گیری محتوای رطوبتی نمونه‌های دونات مطابق با استاندارد AACC (۱۹۸۶) انجام گرفت. میزان اُفت رطوبت دونات طی سرخ‌شدن نیز با استفاده از رابطهٔ (۱) و (۲) تعیین شد (امیریوسفی، ۱۳۸۹).

رابطهٔ (۱)

$$\text{میزان رطوبت} = \frac{(\text{وزن نمونه بعد از آون گذاری} - \text{وزن نمونه قبل از آون گذاری})}{\text{وزن نمونه قبل از آون گذاری}}$$

رابطهٔ (۲)

$$\text{اُفت رطوبت} = \frac{(\text{درصد رطوبت بعد از سرخ شدن} - \text{درصد رطوبت قبل از سرخ شدن})}{\text{درصد رطوبت قبل از سرخ شدن}}$$

اندازه‌گیری محتوای چربی

اندازه‌گیری چربی دونات با استفاده از روش علی‌پور و همکاران (۱۳۸۸) و با سوکسله صورت گرفت. محتوای روغن و میزان جذب روغن به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۳) و (۴) اندازه‌گیری شد (ذوالفقاری، ۱۳۸۹؛ امیر یوسفی، ۱۳۸۹).

رابطهٔ (۳)

$$\text{میزان روغن} = \frac{(\text{وزن نمونه بعد از سوکسله} - \text{وزن نمونه قبل از سوکسله})}{\text{وزن نمونه قبل از سوکسله}}$$

رابطهٔ (۴)

$$\text{جذب روغن} = \frac{(\text{درصد روغن بعد از سوکسله} - \text{درصد روغن قبل از سوکسله})}{\text{درصد روغن قبل از سوکسله}}$$

اندازه‌گیری حجم

روش استفاده از جابجایی دانه‌های ریز برای تعیین حجم دونات به‌کار رفت (Garimella Purna *et al.*, 2011). حجم دونات با استفاده از رابطهٔ (۵) به‌دست آمد.

رابطهٔ (۵)

حجم ارزن باقی‌مانده - حجم ظرف = حجم دونات

بافت

بررسی بافت نمونه‌های دونات با استفاده از دستگاه بافت‌سنج[1] (مدل بروکفیلد، QTS، ساخت انگلستان) و توسط آزمون TPA صورت گرفت. در این آزمایش ابتدا تیمارهای مختلف دونات که به‌صورت برش‌های یکسان با ابعاد ۲×۲×۲ سانتی‌متر توسط تیغ بریده‌شده بود روی صفحهٔ نگهدارنده قرار داده شد. سپس پروب دستگاه به اندازهٔ ۴×۴ سانتی‌متر و با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه شروع به حرکت کرد و پس از تماس با سطح نمونه، به اندازهٔ ۷۵ درصد از ارتفاع اولیهٔ نمونه آن را فشرده کرد. این آزمایش بدون زمان تأخیر بین آزمون اول و دوم انجام شد و داده‌های مربوط به سفتی[2]، صمغیت[3]، قابلیت جویدن[4] و پیوستگی[5] ثبت گردید (Caballero *et al.*, 2007).

تصویرگیری و پردازش تصاویر

استخراج پارامترهای رنگ

جهت استخراج پارامترهای رنگی از تصاویر دونات، تغییر فضای رنگی از RGB به L*a*b* با استفاده از نرم‌افزار ImageJ مطابق روش امیریوسفی (۱۳۸۹) انجام شد.

استخراج پارامتر تخلخل

تصاویر تهیه‌شده، توسط نرم‌افزار فتوشاپ نسخهٔ ۸ پیش‌پردازش شدند. به‌طوری‌که تصاویر برحسب اندازهٔ واقعی مقیاس‌گذاری‌شده، بخشی از آن با ابعاد یکسان جدا شد. سپس تصاویر را تبدیل به فرم باینری نموده و آستانه‌گیری توسط یک برنامهٔ توسعه‌یافته متلب (Mathworks, v7. 5.0, USA) مطابق روش قیطران‌پور (۱۳۹۲) انجام شد.

[1] Texture Analyzer
[2] Hardness
[3] Gumminess
[4] Chewiness
[5] Cohessivness

ارزیابی حسی

به‌منظور بررسی میزان تأثیر متغیرهای درصد آرد سویا و آرد عدس بر پذیرش این محصول توسط مصرف‌کننده مطابق روش ذوالفقاری (۱۳۸۹) انجام شد.

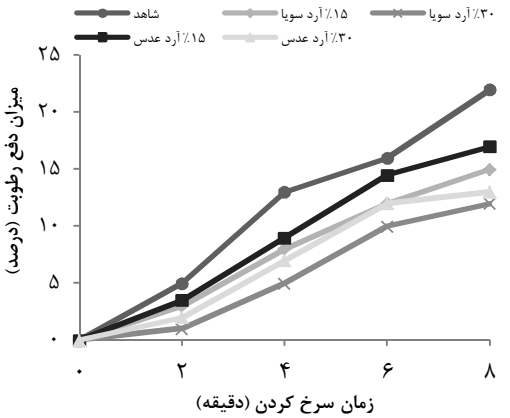
طرح آماری

تیمارها، نوع و درصد آرد جایگزین آرد گندم و زمان سرخ‌کردن بود. نتایج هریک از آزمون‌ها براساس طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل و در سطح احتمال ۵ درصد تجزیه‌وتحلیل شد برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن و نرم‌افزار SPSS در ۳ تکرار استفاده شد.

نتایج و بحث

دفع رطوبت

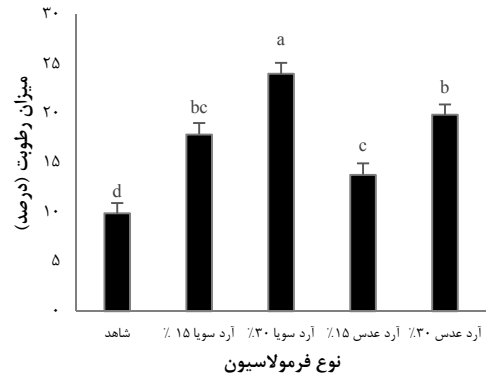
مطابق نتایج آنالیز واریانس اثر زمان سرخ‌کردن، فرمولاسیون با درصدهای مختلف آرد و اثر متقابل این دو فاکتور بر دفع رطوبت در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. همان‌طورکه در شکل (۱) مشاهده می‌شود با افزایش زمان سرخ‌کردن، ازدست‌دادن رطوبت در تمامی نمونه‌های دونات افزایش یافت. در نمونهٔ شاهد ازدست‌دادن رطوبت بعد از گذشت ۸ دقیقه ۲۲/۴۵ درصد رسید. در سایر نمونه‌ها با افزودن آرد سویا و عدس به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای این پارامتر کاهش یافت. این نتیجه با گزارش سایر محققین مطابقت دارد (Tan & Mittal, 2006; Vélez-Ruiz & Sosa-Morales, 2003).



شکل ۱ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر درصد دفع رطوبت ازدونات طی سرخ‌شدن

همان‌طورکه در شکل‌های (۱) و (۲) مشخص است حضور آرد سویا و عدس در فرمولاسیون دونات در میزان دفع رطوبت و محتوای رطوبت نمونه‌های دونات بعد از طی فرایند سرخ‌کردن، اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) ایجاد کرد. کمترین میزان رطوبت در نمونهٔ شاهد و بیشترین در نمونهٔ حاوی ۳۰ درصد آرد سویا بود. محتوای رطوبتی دونات وابسته به ظرفیت نگهداری آب ترکیبات آن است و تحقیق‌های متعددی بیانگر بالاتربودن ظرفیت نگهداری آب، آرد سویا نسبت به آرد گندم بوده‌اند. Singh و همکاران (۲۰۰۸) در این مورد گزارش داده‌اند که ایزولهٔ پروتئین سویا قادر است از ۱۵۰ تا ۴۰۰ درصد وزن خود آب جذب کند. به‌همین‌خاطر با افزایش درصد ایزولهٔ پروتئین سویا و پیوندهای آب‌دوست آن، ظرفیت جذب آب خمیر دونات نیز افزایش می‌یابد. Lee و Brennand (۲۰۰۵) گزارش دادند که آب جذب‌شده توسط ایزولهٔ پروتئین سویا، به‌صورت فیزیکی در شبکهٔ پروتئینی به‌دام می‌افتد و جداکردن آن از پروتئین مشکل است. به‌همین‌خاطر می‌توان رطوبت بالا و اُفت رطوبت پایین دونات حاوی ایزولهٔ پروتئین سویا را به حضور این ماده نسبت داد. Dogan و همکاران (۲۰۰۵) افزایش نسبی محتوی رطوبت در نمونه‌های سرخ‌شده را می‌توان ناشی از ظرفیت بالای پروتئین‌های سویا برای اتصال با آب و قابلیت تشکیل فیلم این پروتئین‌ها در طی فرایند حرارت‌دادن، دانست. همچنین افزایش ویسکوزیتهٔ ظاهری نسبت به خمیرابهٔ شاهد مانع از خروج رطوبت از نمونه می‌شود که می‌توان به بالابودن میزان جذب آب و حلالیت بیشتر پروتئین‌های سویا نسبت داد.

Kilincceker و همکاران (۲۰۱۳) و Kilincceker و Hepsag (۲۰۱۱) اثر آرد عدس و نخود بر کوفتهٔ مرغ و فیلهٔ ماهی سرخ‌شده به‌ترتیب بررسی کردند و گزارش نمودند که محتوای رطوبت نمونه‌های پوشیده‌شده با آرد عدس و نخود به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونهٔ شاهد می‌باشد که درمورد آرد عدس می‌توان به‌اندازهٔ ذرات کوچک‌تر و محتوی پروتئین بیشتر آن نسبت داد.

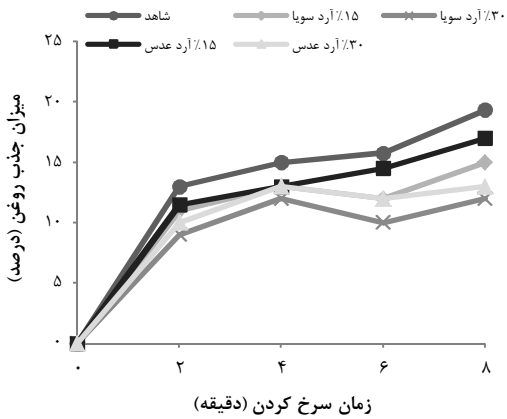


شکل ۲ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر میزان رطوبت دونات طی سرخ‌شدن

جذب روغن

مقدار روغن ازجمله عوامل کیفی مهم در محصولات سرخ‌شده است. عوامل متعددی مثل سطح فراورده، نوع ارتباط مادهٔ سرخ‌کردنی با روغن و ویژگی‌های روغن و محصول بر آن تأثیر می‌گذارد (Mallarjunan *et al.*, 2010). بر طبق نتایج آنالیز واریانس اثر زمان سرخ‌کردن، نوع فرمولاسیون دونات، اثر متقابل این دو فاکتور بر میزان جذب روغن دونات در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود.

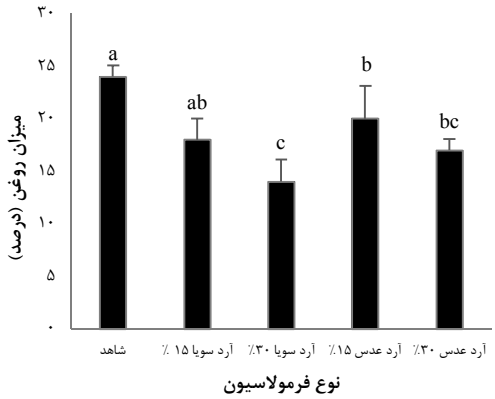
همان‌طورکه انتظار می‌رفت افزایش زمان سرخ‌کردن به‌طور معنی‌داری ($P<0/05$) جذب روغن دونات سرخ‌شده را افزایش داده است (شکل ۳). هنگامی که مادهٔ غذایی وارد روغن می‌شود، رطوبت به سرعت از مادهٔ غذایی خارج‌شده و این پدیده با ورود روغن به مادهٔ غذایی همراه است (Tan & Mittel, 2006).



شکل ۳ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر درصد جذب روغن از دونات طی سرخ‌شدن

همان‌طورکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود، بالاترین سرعت افزایش محتوای روغن دونات در ۲ دقیقهٔ آغازین سرخ‌کردن صورت می‌گیرد و بعد از آن نمودار با شیب ملایمی رشد می‌یابد، که احتمالاً به‌دلیل حذف سریع رطوبت سطحی در ابتدای سرخ‌کردن و جایگزینی روغن می‌باشد. Debnath و همکاران (۲۰۰۳) و Pedreschi و همکاران (۲۰۰۶) به نتایج مشابهی اشاره کردند.

افزودن آرد سویا و عدس موجب کاهش درصد جذب روغن پس از ۸ دقیقه سرخ‌کردن نسبت به نمونهٔ شاهد شد. شکل (۴) نشان داد که با افزودن ۳۰ درصد آرد سویا به فرمولاسیون دونات پس از پایان فرایند سرخ‌کردن، میزان روغن تقریباً ۱۳درصد که این میزان برای نمونهٔ شاهد تقریباً ۲ برابر بود. این امر می‌تواند ازطرفی به‌دلیل کاهش رطوبت تبخیرشده از دونات هنگام سرخ‌شدن باشد و ازطرف‌دیگر به‌علت انعقاد پروتئین سویا و عدس در سطح و ممانعت از ورود روغن به داخل بافت دونات باشد که با نتایج سایر محققین همخوانی داشت (Singh *et al.*, 2008; Lee & Brennand, 2005). اما آرد عدس نتوانست مانند آرد سویا درزمینهٔ کاهش ازدست‌دادن رطوبت و جذب روغن عمل کند که احتمالاً به خصوصیات عملکردی ضعیف و ویسکوزیتهٔ پایین‌تر آن نسبت به آرد سویا مرتبط می‌شود.



شکل ۴ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر میزان روغن دونات طی سرخ‌شدن

عجم و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند با افزایش درصد جایگزینی ایزولهٔ پروتئین سویا با آرد گندم

موجب افزایش محتوی رطوبت و کاهش محتوی روغن در نمونه‌های دونات شد. دونات‌های تهیه‌شده با ۷ درصد ایزولهٔ پروتئین سویا بالاترین محتوی رطوبت و کمترین محتوی چربی را در تمامی دماهای موردمطالعه به‌خوداختصاص دادند. افزایش میزان پروتئین سویا باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود. به‌همین‌دلیل جداشدن مولکول‌های آب سخت‌ترشده که به کاهش تبخیر آب طی سرخ‌کردن منجر می‌شود. این امر با کاهش جایگزینی روغن با آب در دونات‌های تهیه‌شده از ایزولهٔ پروتئین سویا طی سرخ‌کردن همراه است. Lee و Brennand (۲۰۰۵) بیان کردند که در کلوچه‌های یاکوا[1] تهیه‌شده از آرد گندم با ۱۵ درصد جایگزینی ایزولهٔ پروتئین سویا و سرخ‌شده، محتوی رطوبت و پروتئین افزایش و محتوی چربی کاهش یافت بدون اینکه مقبولیت پذیرش آنها کاهش یابد. Shih و همکاران (۲۰۰۱) نیز دریافتند که با جایگزین‌کردن بخشی از آرد گندم با آرد برنج اصلاح‌شده (دانهٔ بلند ژلاتینه یا پیش‌پخت‌شده، نشاستهٔ برنج استیله‌شده) در دونات‌ها نه تنها ویژگی‌های مطلوب دونات سنتی حفظ شد بلکه میزان جذب روغن نمونه‌ها تا ۶۴ درصد کاهش یافت. همچنین استحکام و قوام خمیر و میزان رطوبت آنها نسبت به نمونه‌های تهیه‌شده از آرد برنج اصلاح‌نشده بالاتر بود.

حجم

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متغییرهای مستقل در سطح ۹۹ درصد بر حجم دونات معنی‌دار بوده است. جدول (۲) تغییرات حجم نمونه‌های دونات را طی فرایند سرخ‌کردن، نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود با شروع سرخ‌کردن تمام تیمارهای دونات افزایش حجم داشتند و بیشترین درصد افزایش حجم در نمونهٔ شاهد مشاهده شد. در ادامهٔ فرایند، تغییرات حجم روند کاهشی داشت.

برای توجیه این روند ابتدا باید تغییرات به‌وجودآمده درحین عمل‌آوری خمیر دونات قبل از فرایند سرخ‌کردن، شرح داده شود. مرحلهٔ ورآمدن خمیر، در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه انجام می‌شود در این مرحله مخمر شروع به فعالیت کرده و با تخمیر قندها، دی‌اکسیدکربن و الکل آزاد می‌کند. هم‌زمان شبکهٔ گلوتنی نیز تشکیل و توسعه می‌یابد. درنتیجه مقداری از دی‌اکسیدکربن تولیدی از بافت خارج و قسمتی از آن در شبکهٔ گلوتن توزیع می‌گردد. تغییرات یادشده باعث می‌شوند که در پایان این فرایند خمیر دونات متخلخل و منبسط‌شده، پر از حباب‌های حاصل از گاز گردد و از ساختار کف مانند با سلول‌های گازی مجزا به ساختار اسفنجی با حفره‌های مرتبط به هم تبدیل شود (پایان، ۱۳۸۷؛ ذوالفقاری، ۱۳۸۹).

در دونات عمل‌آوری‌شده توسط مخمر، از لحظهٔ آغاز فرایند سرخ‌کردن تا زمانی که مخمر غیرفعال شود، تولید گاز دی‌اکسیدکربن ادامه می‌یابد. با افزایش دما حلالیت دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد و باعث افزایش حجم می‌شود. تبخیر آب و سایر گازهای فرار هم باعث حجم سلول‌های گاز می‌شود (Zhang *et al*., 2007). به‌همین‌دلیل در دقایق اولیهٔ سرخ‌کردن، افزایش حجم قابل‌ملاحظه‌ای در نمونه‌ها مشاهده شد. با ادامهٔ فرایند سرخ‌کردن، روند افزایش حجم متوقف می‌شود که به‌دلیل ایجاد مقاومت در دیوارهٔ سلول‌های گاز نسبت به انبساط می‌باشد. نشاستهٔ موجود در دیوارهٔ سلول‌های گاز در دمای ۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد ژلاتینه‌شده و ویسکوزیته و قابلیت انبساط خمیر را تغییر می‌دهد و انعطاف‌پذیری دیوارهٔ سلول‌ها کاهش می‌یابد تا جایی که افزایش گاز منجربه پاره‌شدن دیوارهٔ سلول می‌شود (Zhang *et al*., 2007). در دقایق انتهایی سرخ‌شدن، ممکن است به‌خاطر ایجاد پوسته و کاهش انعطاف‌پذیری و ضخامت دیوارهٔ حباب‌های هوا، خروج بخار آب از آنها اتفاق‌افتاده و جمع‌شدگی محصول و کاهش حجم به‌وجود آید (Kim *et al*., 2011). مشابه نتایج به‌دست‌آمده توسط Vélez-Ruiz و Sosa-Morales (۲۰۰۳) در ۲ دقیقهٔ اول سرخ‌کردن به‌دلیل انبساط گازهای درون شبکهٔ خمیر و گسترش خمیر، حجم به‌سرعت افزایش‌یافته، سپس تا پایان

[1] Yackwa Cookie

سرخ‌کردن با روند پایدار، اندکی کاهش می‌یابد. کاهش حجم ممکن است تشکیل پوسته و خروج بخار آب و جمع‌شدگی خفیف محصول ایجادشده باشد.

همان‌گونه‌که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، با جایگزینی آرد سویا و عدس در فرمولاسیون دونات به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) حجم دونات کاهش می‌یابد. آرد گندم با خصوصیات منحصربه‌فرد ازجمله تشکیل شبکهٔ گلوتنی قدرت نگهداری گاز و افزایش حجم دارد، باتوجه‌به اینکه عوامل تولید گاز در شبکهٔ خمیر، مخمر و بیکینگ‌پودر می‌باشند و با جایگزینی آرد سویا و عدس، گسترش شبکهٔ گلوتنی خمیر محدودشده و نگهداری گاز کاهش می‌یابد. Funami و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند، افزودن ۵ درصد پروتئین سویا به نان حجم مخصوص آن را کاهش داد. در تحقیق دیگر، Ribota و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند افزودن آرد سویا و ایزولهٔ پروتئین سویا به خمیر به‌طور معنی‌داری ظرفیت نگهداری گاز را در خمیر کاهش می‌دهد. همچنین طی زمان تخمیر تمام محصولات سویا حجم خمیر را کاهش دادند و افزایش درصد سویا میزان کاهش حجم را افزایش داد. آنها بیان کردند آرد سویا و سایر آرد حبوبات، باعث می‌شوند شبکهٔ گلوتنی تشکیل‌شده نفوذپذیری بیشتری به گاز دی‌اکسیدکربن داشته باشد و فراریت آن را افزایش می‌دهد.

تخلخل

در طی فرایند سرخ‌کردن با ادامهٔ حرارت‌دهی، گاز دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود تا زمانی که مخمر غیرفعال شود. با افزایش دما، حلالیت گاز دی‌اکسیدکربن کاهش‌یافته، فراریت مولکول‌های گازهای فرار افزایش می‌یابد. درنهایت، ساختار کف مانند خمیر با سلول‌های گاز جدا از هم به یک ساختار اسفنجی با سلول‌های گاز مرتبط با یکدیگر تبدیل می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد (جدول ۲)، که با افزایش زمان سرخ‌کردن میانگین تخلخل نمونه‌های دونات تا دقیقهٔ ۴ افزایش و سپس کاهش یافت. براساس نتایج به‌دست‌آمده، تخلخل ارتباط مستقیمی با حجم دارد و هرچه تخلخل افزایش یابد حجم نیز بیشتر می‌شود.

ازطرف‌دیگر با افزودن آرد سویا و عدس روند تغییرات تخلخل درحین سرخ‌شدن نیز دچار تغییراتی می‌شود. همان‌طورکه در جدول (۲) نشان داده شده است، با افزودن جایگزینی آرد سویا و عدس به فرمولاسیون دونات، تخلخل دونات به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت ($P<۰/۰۵$). کاهش تخلخل به‌وجودآمده می‌تواند به آن دلیل باشد که با افزودن آرد سویا و عدس به خمیر، گلوتن به‌اندازهٔ کافی گسترش‌نیافته و ظرفیت نگهداری گاز در آن کاهش می‌یابد (Ribota *et al*., 2005) و همین امر باعث می‌شود که تغییرات تخلخل به اندازهٔ نمونهٔ شاهد افزایش نیابد. این نتیجه با نتایج اندازه‌گیری حجم مطابقت داشت و افزایش درصد آرد سویا و عدس، حجم را کاهش داد.

Shih و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش کردند که با جایگزین‌کردن بخشی از آرد گندم با آرد برنج اصلاح‌شده در فرمولاسیون دونات‌ها، حجم و تخلخل مغز دونات نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد. Bojaj و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که آرد سویا در مقایسه با آرد گندم در نان‌های حجیم، ظرفیت نگهداری گاز را کاهش می‌دهد، بنابراین تخلخل به اندازهٔ کافی افزایش نمی‌یابد.

ذوالفقاری (۱۳۸۹) دریافت که با افزایش درصد ایزولهٔ پروتئین سویا به دونات، علاوه‌بر افزایش جذب آب و انعقاد این پروتئین در سطح دونات، چگالی نیز افزایش می‌یابد که به معنی کاهش تخلخل در دونات است. این عامل نیز به کمک سایر تغییرات ناشی از افزودن ایزولهٔ پروتئین سویا باعث کاهش جذب روغن دونات می‌گردد.

جدول ۲ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر حجم و تخلخل دونات طی سرخ‌شدن

	زمان	شاهد	آرد سویا		آرد عدس	
	سرخ‌کردن		۱۵ درصد	۳۰ درصد	۱۵ درصد	۳۰ درصد
حجم (مترمکعب)	۰	۱۵۰±۳۲^{f}	۱۳۲±۲۶^{ij}	۱۴۵±۵۴^{gh}	۱۲۸±۷۳^{j}	۱۳۴±۳۴^{i}
	۲	۱۷۵±۱۳^{a}	۱۶۰±۴۲^{d}	۱۶۵±۱۸^{c}	۱۵۴±۱۲^{e}	۱۶۳±۱۸^{cd}
	۴	۱۶۹±۴۳^{b}	۱۵۷±۴۳^{ed}	۱۶۳±۲۱^{cd}	۱۴۷±۲۶^{g}	۱۵۴±۱۹^{e}
	۶	۱۶۴±۲۱^{c}	۱۵۵±۲۵^{de}	۱۶۲±۸۱^{cd}	۱۴۵±۲۹^{gh}	۱۵۰±۵۴^{f}
	۸	۱۶۲±۵۱^{cd}	۱۵۳±۷۲^{e}	۱۵۵±۳۳^{de}	۱۴۱±۴۵^{h}	۱۴۸±۳۳^{f}
تخلخل (درصد)	۰	۱۵/۲۱±۴/۳^{e}	۱۳/۲۴±۵/۲^{f}	۱۴/۵۵±۳/۵^{ef}	۱۲/۸۹±۹/۳^{f}	۱۳/۴۳±۸/۴^{ef}
	۲	۱۹/۵۰±۳/۶^{c}	۱۸/۰۸±۱۱/۴^{d}	۱۸/۵۶±۸/۳^{cd}	۱۷/۴۷±۶/۴^{d}	۱۸/۳۶±۹/۶^{cd}
	۴	۲۳/۲۰±۲/۹^{a}	۲۱/۳۴±۱۲/۳^{b}	۲۱/۵۱±۱۱/۲^{b}	۲۰/۱۱±۷/۶^{c}	۱۹/۸۴±۱۱/۳^{c}
	۶	۲۱/۴۱±۱۳/۱^{b}	۱۹/۵۱±۷/۴^{c}	۱۸/۲۷±۶/۴^{cd}	۱۶/۵۳±۲/۶^{d}	۱۵/۹۶±۱۲/۳^{d}
	۸	۱۹/۹۳±۸/۸^{c}	۱۷/۷۲±۸/۴^{cd}	۱۸/۳۵±۷/۴^{cd}	۱۵/۷۲±۱۲/۱^{de}	۱۵/۴۲±۹/۸^{e}

اعداد میانگین سه تکرار می‌باشد و به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.
حروف کوچک متفاوت نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) می‌باشد.

بافت

آنالیز واریانس داده‌های بافت دونات نشان داد که جایگزینی آرد سویا و عدس بر پارامترهای سختی، صمغی‌بودن و قابلیت ارتجاعی بافت، تأثیر معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) داشته و بر پارامترهای پیوستگی و قابلیت جویدن تأثیر معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) نداشتند. جدول (۳) تأثیر افزودن غلظت‌های مختلف آرد سویا و عدس بر بافت دونات سرخ‌شده را نشان می‌دهند.

سختی یکی از مهم‌ترین پارامترهای بافت دونات است زیرا می‌تواند بر پذیرش نهایی محصول توسط مصرف‌کننده تأثیر داشته باشد. افزودن پروتئین بر فرمولاسیون دونات دو تأثیر می‌گذارد، ازیک‌سو با افزودن پروتئین، تعداد پیوندهای پروتئین-پروتئین افزایش می‌یابد که باعث افزایش سختی بافت شده و ازسوی‌دیگر پروتئین، ظرفیت جذب آب را افزایش‌داده که موجب نرم‌ترشدن بافت می‌گردد. برآیند این دو اثر، سختی بافت نهایی دونات را تعیین می‌کند. با افزایش درصد جایگزینی آرد سویا به فرمولاسیون دونات، به‌دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب سختی کاهش، قابلیت جویدن و پیوستگی افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های Lee و Brennand (۲۰۰۵) همخوانی نداشت. آنها گزارش دادند که نیروی موردنیاز برای فشردن یاکوا با افزایش درصد ایزولهٔ پروتئین سویا تا ۱۵ درصد، بیشتر می‌شود.

با افزودن آرد عدس به‌دلیل ایجاد پیوندهای کووالانسی قوی باعث ایجاد یک شبکهٔ سُه‌بعدی شده که موجب افزایش سختی، کاهش قابلیت جویدن و پیوستگی می‌شود. Kilincceker و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که آرد عدس و آرد نخود سختی و تردی را در کوفته‌های مرغ افزایش دادند.

جدول ۳ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر پارامترهای بافتی دونات سرخ‌شده

پارامترهای بافت/	شاهد	آرد سویا		آرد عدس	
فرمولاسیون		۱۵ درصد	۳۰ درصد	۱۵ درصد	۳۰ درصد
سختی (N)	۹/۱۲±۳/۴^{c}	۸/۳۴±۱/۲^{cd}	۶/۲۴±۲/۳^{d}	۱۱/۲۳±۵/۱^{b}	۱۳/۴۱±۶/۳^{a}
ارتجاعی (میلی‌متر)	۹/۴۲±۴/۵^{bc}	۱۰/۱۱±۴/۷^{b}	۱۱/۱۶±۳/۵^{a}	۸/۲۵±۳/۳^{c}	۷/۱۲±۲/۴^{cd}
صمغی (N)	۴/۰۳±۱/۲^{c}	۵/۱۲±۲/۳^{b}	۷/۰۹±۲/۵^{a}	۴/۲۱±۱/۷^{c}	۵/۳۴±۱/۴^{b}
پیوستگی (Nm)	۰/۰۵±۰/۰۱^{a}	۰/۰۵۲±۰/۰۲^{a}	۰/۰۵۳±۰/۰۱^{a}	۰/۰۴۴±۰/۰۲^{a}	۰/۰۴۱±۰/۰۲^{a}
قابلیت جویدن	۰/۴۴±۰/۲^{a}	۰/۴۳±۰/۳^{a}	۰/۴۲±۰/۲^{a}	۰/۴۲±۰/۱^{a}	۰/۴۱±۰/۲^{a}

اعداد میانگین سه تکرار می‌باشد و به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.
حروف کوچک متفاوت نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بین سطرها می‌باشد.

رنگ

رنگ اولین فاکتوری است که مصرف‌کننده مشاهده می‌کند و بر پذیرش مصرف‌کننده تأثیر بسزایی دارد بنابراین تعیین تغییرات رنگ طی فرایند تولید و تشخیص اثر فاکتورهای مختلف بر آن از نقطه‌نظر تجاری قابل‌توجه می‌باشد. طی زمان سرخ‌کردن رنگ دونات در اثر واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی مانند میلارد و کاراملیزاسیو ن[1] تغییر می‌کند. واکنش‌های میلارد بین قندهای احیاکننده و آمینواسیدها، پروتئین‌ها و سایر ترکیبات نیتروژن رخ می‌دهند. واکنش‌های کاراملیزاسیون در اثر حرارت‌دهی کربوهیدرات‌ها، بخصوص ساکارُز و قندهای احیاکننده رخ می‌دهد.

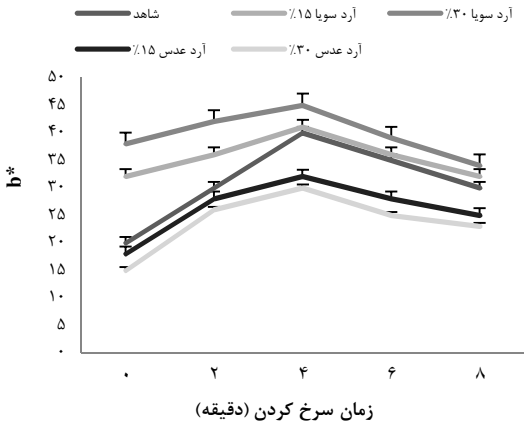
در صنایع غذایی رنگ معمولاً در فضای $L^*a^*b^*$ بیان می‌گردد که یک استاندارد بین‌المللی جهت اندازه‌گیری رنگ بوده و در سال ۱۹۷۶ تدوین گردیده است. محور L^* از صفر تا ۱۰۰ و محورهای a^* و b^* از ۱۲۰+ تا ۱۲۰- متغیر هستند (Wu & Sun, 2013). تغییرات فاکتورهای رنگ (L^*, a^*, b^*) و تغییرات کلی رنگ ΔE تحت‌تأثیر جایگزینی آرد سویا و آرد عدس بررسی شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر زمان سرخ‌کردن، نوع فرمولاسیون دونات با آردهای مختلف و اثر متقابل آنها بر پارامترهای رنگ معنی‌دار بود.

فاکتور زردی (b^*)

شکل (۵) تغییرات فاکتور زردی (b^*) در هنگام سرخ‌شدن را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد (شکل ۵) زمان سرخ‌کردن تأثیر معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بر این پارامتر دارد. فاکتور زردی تا دقیقهٔ ۴ فرایند سرخ‌کردن، افزایش و پس از آن کاهش یافت. برای همین می‌توان نتیجه‌گرفت که ممکن است با گذشت زمان حرارت‌دادن، نوع ترکیبات رنگی و واکنش‌های ایجادکنندهٔ آنها تغییریافته باشد (Dogan *et al.*, 2005). طی سرخ‌کردن، افزایش درجه‌حرارت به شکل مشخصی سبب تسریع واکنش میلارد می‌شود. به‌طورکلی میزان قهوه‌ای‌شدن به‌ازای هر ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ۲-۳ برابر افزایش می‌یابد (Mallarjunan *et al.*, 2010).

علاوه‌بر این در شکل (۵) نشان داده شده است که با جایگزینی آرد سویا و آرد عدس به فرمولاسیون دونات، به‌ترتیب پارامتر زردی نمونه‌ها افزایش و کاهش می‌یابد. که این مورد به رنگ آردهای جایگزین‌شده مرتبط می‌شود. رنگ آرد عدس در محور آبی-زرد در محدودهٔ آبی و آرد سویا در محدودهٔ زرد قرار دارد.

قیطران‌پور (۱۳۹۲) گزارش داد که زمان سرخ‌کردن تأثیر معنی‌داری بر پارامتر b^* در مغز دونات نداشت و میزان آن به‌طور متوسط ۴/۵ بود. اما ایزولهٔ پروتئین سویا باعث افزایش معنی‌دار این فاکتور در مغز دونات شد به‌طوری‌که پارامتر b^* دونات سرخ‌شدهٔ حاوی ۵ درصد ایزولهٔ پروتئین سویا حدود ۳ واحد بیشتر از نمونهٔ شاهد بود. Lee و Brennand (۲۰۰۵) نیز در تحقیقی مشابه دریافتند که با افزودن ۵ درصد ایزولهٔ پروتئین سویا به کلوچهٔ یاکوا، پارامتر b* مغز این کلوچه افزایش می‌یابد.



شکل ۵ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر فاکتور زردی دونات طی سرخ‌شدن

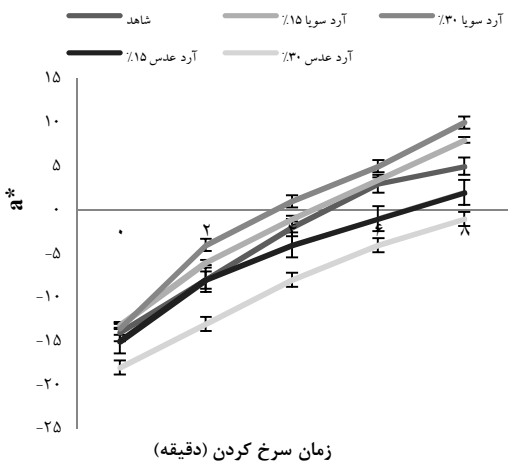
فاکتور قرمزی (a^*)

تغییرات پارامتر a^* (قرمز-سبز) در هنگام سرخ‌شدن نمونه‌های دونات در شکل (۶) نشان داده شده است. باتوجه‌به شکل (۶) در آغاز فرایند سرخ‌کردن رنگ تمام نمونه‌ها در محدودهٔ سبز قرارداشته و با ادامهٔ فرایند سرخ‌کردن رنگ تیمارهای مختلف دونات به

[1] Caremelization

سمت رنگ قرمز حرکت می‌کند به‌گونه‌ای که پس از ۶ دقیقه سرخ‌شدن، رنگ برخی از تیمارها از محدودهٔ رنگ سبز (مقادیر منفی a^*) خارج‌شده و وارد محدودهٔ رنگ قرمز (مقادیر مثبت a^*) می‌شود. Vélez-Ruiz و Sosa-Morales (۲۰۰۳) و قیطران‌پور (۱۳۹۲) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها اعلام کردند که در هنگام سرخ‌کردن خمیر دونات، رنگ آن از محدودهٔ سبز به سمت محدودهٔ قرمز تغییر می‌یابد. که این امر به تشکیل تدریجی رنگ‌دانه‌های قرمز حاصل از واکنش میلارد نسبت داده شد. آنها همچنین اعلام کردند که این تغییرات تابعی از دمای روغن نیز می‌باشند به‌صورتی‌که با افزایش دما، مقدار پارامتر a^* نیز افزایش می‌یابد.

جایگزینی آرد سویا و عدس در فرمولاسیون دونات تأثیر معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بر پارامتر a^* گذاشت. به‌نحوی‌که پس از پایان ۶ دقیقه از شروع سرخ‌کردن این پارامتر در نمونهٔ ۳۰ درصد آرد سویا بیشترین و نمونهٔ ۳۰ درصد آرد عدس کمترین مقدار را دارا بود. این نتیجه با نتایج Ribota و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت داشت و افزودن آرد سویا به نان فاکتور قرمزی را افزایش داد. Lee و همکاران (۲۰۰۵) نیز به افزایش این فاکتور در اثر افزودن ایزولهٔ پروتئین سویا به کلوچهٔ سرخ‌کردنی (یاکوا) اشاره کرده‌اند. منفی‌بودن پارامتر قرمزی در نمونه‌های آرد عدس به ماهیت و رنگ آرد عدس مرتبط می‌شود.

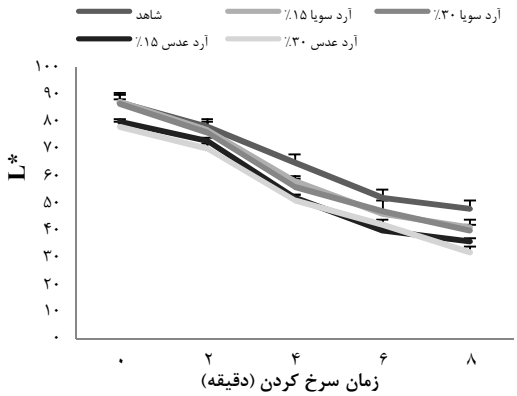


شکل ۶ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر فاکتور قرمزی دونات طی سرخ‌شدن

فاکتور روشنی (L^*)

همان‌طورکه در شکل (۷) مشاهده می‌شود با افزایش زمان سرخ‌کردن از روشنایی (L^*) نمونه‌های دونات کاسته شده است. این تغییرات بیانگر تشکیل تدریجی پوسته هستند. علت کاهش روشنایی دونات طی سرخ‌شدن به تشکیل رنگ‌دانه‌های ناشی از قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی نسبت داده می‌شود. طبق گزارش‌های داده‌شده واکنش میلارد و کاراملیزاسیون ازجمله مهم‌ترین عوامل کاهش روشنایی پوسته هستند که با گذشت زمان سرخ‌کردن، تعداد رنگ‌دانه‌های تولیدشده در اثر آنها افزایش می‌یابد (ذوالفقاری، ۱۳۸۹) مشابه نتایج Vélez-Ruiz و Sosa-Morales (۲۰۰۳) و Tan و Mittel (۲۰۰۶)، با افزایش زمان سرخ‌کردن فاکتور روشنی محصولات سرخ‌شده کاهش یافت.

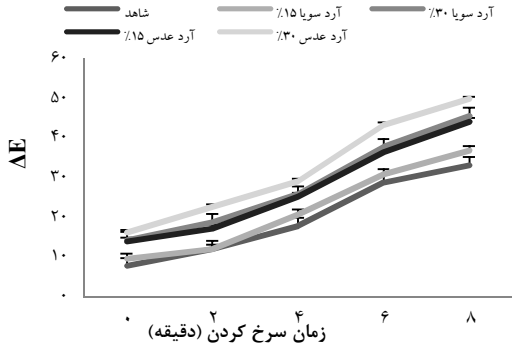
شکل (۷) به‌خوبی نشان‌دهندهٔ آن می‌باشد که در ابتدای سرخ‌کردن، تفاوت معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بین روشنایی نمونهٔ شاهد و نمونه‌های حاوی آرد سویا وجود ندارد اما روشنایی نمونه‌های حاوی آرد عدس به‌طور معنی‌داری کمتر بود.که این به‌دلیل رنگ تیرهٔ آرد عدس نسبت به آرد سویا و گندم می‌باشد. با ادامهٔ فرایند سرخ‌کردن تا انتها، روشنایی نمونهٔ شاهد نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر باقی‌ماند. مشابه نتایج Alpaslan و Haytam (۲۰۰۶) برای برخی محصولات آردی، افزودن آرد سویا نیز کاهش‌دهندهٔ روشنی بود و دونات‌های غنی‌شده با آرد سویا رنگ تیره‌تری داشتند. افزایش پروتئین دونات در اثر جایگزینی آرد سویا و عدس ممکن است عامل ایجاد این تغییرات باشد زیرا سویا و عدس دارای مقدار زیادی لیزین است که به‌عنوان مادهٔ اولیهٔ واکنش میلارد می‌تواند باعث افزایش رنگ تولیدشده در اثر این واکنش باشد. Lee و Brennand (۲۰۰۵) نیز در تحقیقی روی یاکوا به نتایج مشابهی دست یافتند. Bajaj و همکاران (۲۰۰۷) ن نیز اعلام کردند که افزودن آرد سویا باعث تیره‌ترشدن رنگ نان گردید. Kilincceker و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که آرد عدس و آرد نخود روشنایی کوفته‌های مرغ سرخ‌شده به روش عمیق را کاهش دادند.



شکل ۷ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر فاکتور روشنایی دونات طی سرخ‌شدن

تغییرات کلی رنگ (ΔE)

شکل (۸) تغییرات کلی رنگ پوستهٔ دونات طی زمان سرخ‌کردن را نشان می‌دهد. مشابه تعدادی از مطالعه‌های دیگر که تغییرات رنگ دونات را طی زمان سرخ‌کردن بررسی کردند (Tan & Mittal, 2006; Vélez-Ruiz & Sosa-Morales, 2003).



شکل ۸ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر تغییرات کلی رنگ دونات طی سرخ‌شدن

همان‌طورکه در شکل (۹) مشاهده می‌شود، افزودن آرد سویا و عدس تأثیر معنی‌داری بر تغییرات کلی رنگ دونات داشته است. بیشترین تغییرات رنگ بعد از ۸ دقیقه سرخ‌کردن در نمونهٔ حاوی ۳۰ درصد آرد عدس مشاهده شد و کمترین مربوط به نمونهٔ شاهد بود. ذوالفقاری (۱۳۸۹) گزارش کرد که با افزایش ایزولهٔ پروتئین سویا به فرمولاسیون دونات، تغییرات کلی رنگ افزایش می‌یابد.



شکل ۹- تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر تغییرات رنگ دونات سرخ‌شده

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی رایج‌ترین روشی است که به‌منظور ارزیابی تردی، طعم و مزه و سایر ویژگی‌های ظاهری در فراورده‌های غذایی مورداستفاده قرار می‌گیرد (ذوالفقاری، ۱۳۸۹). براساس نتایج آنالیز واریانس، تمامی شاخص‌های حسی دونات با جایگزینی آرد سویا و آرد عدس ازنظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار بودند ($P<۰/۰۵$). نتایج حاصل از آزمون حسی نمونه‌های دونات در جدول (۴) آورده شده است. باتوجه‌به میانگین امتیازهای آزمون حسی، با جایگزینی آرد سویا و آرد عدس در فرمولاسیون دونات نسبت به نمونهٔ شاهد، میزان رنگ و سفتی افزایش، حجم و طعم کاهش یافتند.

ظاهر و رنگ ازجمله ویژگی‌های مهم و مؤثر در انتخاب مشتری هستند. با افزایش آرد سویا و آرد عدس ازنظر ارزیاب‌های حسی رنگ تیره‌ترشده و پذیرش کمتری داشت که می‌توان به تشدید واکنش میلارد درنتیجهٔ افزودن مقدار پروتئین بیشتر نسبت داد. این نتایج با نتایج تغییرات کلی رنگ حاصل از آزمون دستگاهی مطابقت داشت. Awasthi و همکاران (۲۰۱۲) نیز در بررسی تغییرات بیسکویت غنی‌شده با آرد سویا به این نتیجه رسیدند که آرد سویا رنگ را افزایش می‌دهد.

ازآنجایی‌که با جایگزینی آرد سویا و عدس گسترش گلوتن و حفظ گاز دی‌اکسیدکربن در نمونه‌ها کاهش‌یافته درنتیجه حجم به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای در ارزیابی‌های حسی کاهش یافت. هرچه افزایش حجم کمتر باشد میزان سفتی هم افزایش می‌یابد که نمونه‌های حاوی آرد عدس بیشترین سفتی را ازنظر ارزیاب‌های حسی داشت ولی در نمونه‌های حاوی آرد سویا سفتی کاهش داشت که می‌توان به خاصیت حفظ رطوبت آن نسبت داد.

ارزیابی طعم به میزان قابل‌ملاحظه‌ای بخصوص در نمونه‌های ۳۰ درصد جایگزینی کاهش داشت و ازنظر ارزیاب‌ها طعم ناآشنا و نامفهومی بود که برخی از ارزیاب‌ها طعم دونات حاصل از آرد عدس را می‌پسندیدند ولی اکثراً خواستار طعم معمول دونات بودند. می‌توان به عادت ذائقهٔ مصرف‌کنندگان به دونات حاوی گندم و عدم آشنایی آن با دونات‌های حاوی سایر آردها نسبت داد.

این نتایج با یافته‌های Lee و Brennand (۲۰۰۵)، که به بررسی اثر جایگزینی ایزولهٔ پروتئین سویا با آرد گندم بر ویژگی‌های حسی کلوچهٔ سرخ‌شدهٔ یاکوا پرداختند، مطابقت داشت. این محققین اظهار داشتند که با افزایش ایزولهٔ پروتئین سویا به یاکوا، سختی، بوی مخصوص سویا و رنگ پوسته و مغز افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت، همچنین میانگین پذیرش کلی یاکوا با افزایش ایزولهٔ پروتئین سویا تا سطح ۱۰ درصد افزایش‌یافته بود. در مطالعهٔ حاضر پذیرش کلی نمونه‌های حاوی آرد سویا از نمونهٔ شاهد بیشتر بود و بهترین نمونه ازنظر ارزیاب‌های حسی نمونهٔ ۱۵ درصد آرد سویا بود.

جدول ۴ - تأثیر جایگزینی آرد سویا و عدس بر ارزیابی حسی دونات سرخ‌شده

فرمولاسیون	رنگ	حجم	سفتی	طعم	پذیرش کلی
شاهد	۶/۰۳^{b}	۶/۱۲^{a}	۳/۸۶^{d}	۳/۵۱^{c}	۵/۶۲^{b}
آرد سویا ۱۵ درصد	۶/۴۵^{a}	۵/۸۴^{b}	۴/۳۴^{c}	۶/۷۸^{a}	۶/۷۵^{a}
آرد سویا ۳۰ درصد	۵/۴۴^{c}	۴/۳۴^{c}	۴/۵۵^{c}	۴/۴۳^{b}	۵/۷۸^{b}
آرد عدس ۱۵ درصد	۴/۲۳^{d}	۴/۲۳^{c}	۵/۰۴^{b}	۳/۲۵^{c}	۵/۲۳^{bc}
آرد عدس ۳۰ درصد	۴/۱۳^{d}	۴/۱۲^{c}	۵/۵۶^{a}	۲/۱۶^{d}	۴/۴۹^{c}

اعداد میانگین سه تکرار می‌باشد و به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.
حروف کوچک متفاوت نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بین ستون‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بخشی از آرد گندم مورداستفاده جهت تهیهٔ دونات، در مقادیر مختلف (۰، ۱۵ و ۳۰ درصد) با آرد سویا و آرد عدس جایگزین شد و تأثیر آن بر پارامترهای مؤثر در کیفیت دونات موردبررسی قرار گرفت. جایگزینی آرد سویا و عدس باعث کاهش خروج رطوبت دونات درحین سرخ‌کردن شد و به میزان قابل‌توجهی جذب روغن را کاهش دادند. با افزایش درصد آرد سویا، تغییرات رنگ افزایش‌یافته ولی حجم و تخلخل کاهش یافت. طعم و رنگ دونات بر پذیرش کلی تأثیر زیادی داشت و بهترین نمونه ازنظر ارزیاب‌های حسی، نمونهٔ حاوی ۱۵ درصد آرد سویا بود. آرد سویا و عدس ازطرفی باعث کاهش جذب روغن شدند که بسیار مطلوب‌بوده و ازطرف‌دیگر فاکتورهای کیفی مثل بافت، رنگ و طعم را کاهش داده‌اند که برای رفع این مشکل، استفادهٔ هم‌زمان با صمغ‌ها در محصولات حاصل از آرد گندم پیشنهاد می‌شود.

منابع

۱- امیر یوسفی، م.ر. ۱۳۸۹. بررسی کینتیک انتقال جرم، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بعد برخالی فیلهٔ گوشت شترمرغ سرخ‌شده به روش عمیق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۲- پایان، رسول. ۱۳۸۷. مقدمه‌ای بر تکنولوژی فراورده‌های غلات. چاپ دوم، انتشارات آییژ، تهران.

۳- ذوالفقاری، ز. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر فرمولاسیون و پیش‌تیمارهای سرخ‌کردن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی دونات و کاربرد منطق فازی در ارزیابی ویژگی‌های حسی محصول. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- شکرالهی یانچشمه، ب.، محبی، م.، وریدی، م. و انصاری‌فر، ا. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر دما، زمان سرخ‌کردن و افزودن آرد عدس به فرمولاسیون خمیرابه بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفی پوستهٔ سرخ‌شده به روش سیستم مدل (DFCM). نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۰(۳):۲۷۵-۲۶۶.

۵- عجم، م.، نیازمند، ر. و گوهری اردبیلی، ا. ۱۳۹۵. بررسی اثر جایگزینی ایزولهٔ پروتئینی سویا و دمای سرخ‌کردن بر کاهش جذب روغن دونات. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۵۴(۱۳):۱۴۵-۱۵۳.

۶- علی‌پور، م.، کاشانی‌نژاد، م.، مقصودلو، ی. و جعفری، م. ۱۳۸۸. بررسی اثر کاراگینان، دمای روغن و زمان سرخ‌کردن بر میزان جذب روغن در محصولات سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران، ۵(۱):۲۱-۲۷.

۷- قیطران‌پور، آ. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر افزودن ایزولهٔ پروتئین سویا به دونات بر کینتیک انتقال جرم، ویژگی‌های فیزیکی و روند بیاتی آن. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۸- موسوی‌نسب، س.س.، داراب‌زاده، ن.، امین‌لاری، م. و رمضانی، ر. ۱۳۷۸. روند تغییرات حلالیت و اگوی الکتروفورتیکی پروتئین‌های شیر سویا طی نگهداری در دماهای مختلف. هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۲۴-۲۶ مهر ماه، مشهد.

9- Alpaslan, M., & Haytam, M. 2010. Effect of Soy flour, rice flour and semolina supplementation on the textural and sensory properties of dough and deep-fried product. Journal of Food Processing and Preservation, 34(s2):490-500.

10- AOAC. 1980. Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

11- Awasthi, I., Siraj, P., Tripathi, M., & Tripathi, V. 2012. Development of soy fortified high protein and high calorie supplementary biscuits. Indian Journal of Scientific Research, 3(1):51-58.

12- Bajaj, I., & Singhal, R. 2007.Gellan gum for reducing oil uptake in sev, a legume based product during deep-fat frying. Food Chemistry, 104:1472-1477.

13- Bamdad, F., Dokhani, S., & Keramat, J. 2009. Functional assessment and subunit constitution of lentil (*lens culinaris*) proteins during germination. International Journal of Agriculture & Biology, 11(5):690-694.

14- Caballero, P.A., Gomez, M., & Rosell, C.M. 2007. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. Journal of Food Engineering, 81(1):42-53.

15- Debnath, S., Bhat, K.K., & Rastogi, N.K. 2003. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. LWT-Food Science and Technology, 36(1):91-98.

16- Dogan, S.F., Sahin, S., & Sumnu, G. 2005. Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets. Journal of Food Engineering, 71(1):127-132.

17- Funami, T., Funami, M., Tawada, T., & Nakao, Y. 1999. Decreasing oil uptake of doughnuts during deep fat frying using curdlan. Journal of Food Science, 64 (5):883- 888.

18- Garimella Purna, S.K., Miller, R.A., Seib, P.A., Graybosch, R.A., & Shi, Y.S. 2011. Volume, texture, and molecular mechanism behind the collapse of bread made with different levels of hard waxy wheat flours. Journal of Cereal Science, 54(1):37-43.

19- Kilincceker, O., & Hepsag, F. 2011b. Performance of different coating batters and frying temperatures for fried fish balls. Journal of Animal and Veterinary Advances, 10(17):2256-2262.

20- Kilincceker, O., Hepsağ, F., & Kurt, Ş. 2013. The effects of lentil and chickpea flours as the breading materials on some roperties of chicken meatballs during frozen storage. Journal of Food Science and Technology, 52(1):580-585.

21- Kim, D.N., Lim, J., Bae, I.Y., Lee, H.G., & Lee, S. 2011. Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. Journal of Food Engineering, 102(4):317-320.

22- Lee, K.A, & Brennand, C.P. 2005. Physico-chemical, textural and sensory properties of a fried cookie system containing soy protein isolate. International Journal of Food Science & Technology, 40(5):501-508.

23- Mallarjunan, P.K., Ngadi, M.O., & Chinnan, M.S. 2010. Breaded fried foods. CRC Press. New York.

24- Pedreschi, F., Leo´n, J., Mery, D., & Moyano, P. 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. Food Research International, 39(100):1092-1098.

25- Ribota, P.D., Arnulphi, S.A., Leon, A.E, & Anon, M.C. 2005. Effect of soy bean addition on the rheological properties and bread making quality of wheat flour. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(11):1889-1896.

26- Sahin, S., & Sumnu, S.G. 2010. Advances in deep-fat frying of foods. CRC press, New York.

27- Shih, F.F., Daigle, K.W., & Clawson, E.L. 2001. Development of Low Oil-Uptake Donuts. Journal of Food Science, 66(1):141-144.

28- Singh, P., Kumar, R., Sabapathy, S.N., & Bawa, A.S. 2008 Functional and edible uses of soy protein products. Food Science and Food Safety, 7(1):14-28.

29- Tan, K.J., & Mittal, G.S. 2006. Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. International Journal of Food Properties, 9(1):85-98.

30- Vélez-Ruiz, J.F., & Sosa-Morales, M.E. 2003. Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. International Journal of Food Properties, 6(2):341-353.

31- Wu, D., & Sun, D.W. 2013. Colour measurements by computer vision for food quality control. Trends in Food Science and Technology, 29(1):5-20.

32- Zhang, L., Lucas, T., Doursat, C., Flick, D., & Wanger, M. 2007. Effect of crust constraints on bread expansion and Co2 release. Journal of Food Engineering, 80(4):1302-1311.

33- Ziaiifar, A.M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I., & Trystram, G. 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. International Journal of Food Science and Technology, 43(8):1410-1423.

The Effect of Adding Flour Soy and Lentil to Doughnut on its Physicochemical Properties

Mandana Khorsand[1], Majid Aliabadi[2*], Jalil Jarrahiferiz[3]

1- MSc Student, Department of Food Science and Technology, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
2- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
* Corresponding author (m.aliabadi@iaubir.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Statistics, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

Abstract

Doughnut is a sweet fried golden-brown snack with energy value that is served as a convenient food. Quality of fried doughnut depends on its appearance (color, shape and brightness), aroma, flavor and nutrition value. In this research the effect of wheat flour partial replacement with soy flour and lentil flour (0, 15 and 30%) on physicochemical characteristics of doughnut including oil uptake, moisture loss, volume, texture, color and porosity were evaluated. Finally, sensory evaluation to determine the effects of soy and lentil on consumer acceptance of donuts was performed. The results were showed that addition of soy and lentil flour caused a decrease in moisture loss, fat content, volume, porosity and lightness of doughnut. During frying (a*) of doghnut shift to positive values and soy protein aggravate it. Crust color was darkened progressively with increasing frying time. The hardness of doughnuts decreased with increasing soy level but other rheological parameters did not change significantly. Increasing lentil flour, because of forming strong covalent bonds, increased this parameter. Sensory evaluation results showed that the sample contain 15% soy flour was the highest overall acceptability.

Keywords: Deep Fat Frying, Doughnut, Lentil Flour, Physicochemical Characteristics, Soy Flour

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۲۲۴-۲۱۳

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

ارزیابی پارامترهای کیفی و راندمان خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای در خشک‌کن هیبریدی مایکروویو ـ جریان هوای گرم

امین عمری[۱]، ناصر بهروزی خزاعی[۲*]، فاروق شریفیان[۳]

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
* نویسندهٔ مسئول (nasserbehroozi@gmail.com & nbehroozi@uok.ac.ir)
۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۴

واژه‌های کلیدی
چگالی توان
ظرفیت بازجذبی
پارامترهای رنگ
زمان خشک‌کردن

چکیده

در این پژوهش قارچ خوراکی دکمه‌ای به‌صورت کامل، با استفاده از خشک‌کن ترکیبی مایکروویو ـ جریان هوای گرم در دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر با سطوح چگالی توان (۱/۵، ۲ و ۲/۵ وات بر گرم) و ۳ سطح دمای ۲۳ (محیط)، ۵۰ و ۷۰ درجهٔ سلسیوس برای جریان هوای گرم ورودی خشک شد. سپس راندمان خشک‌کردن و کیفیت نهایی محصول خشک‌شده (رنگ و ظرفیت بازجذبی) مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین مقدار راندمان خشک‌کردن در حالت چگالی توان ثابت ۱/۵ با دمای ۲۳ درجهٔ سلسیوس، ۴۴/۴۴ درصد به‌دست آمد. نتایج ارزیابی پارامترهای رنگی نشان داد که محصول خشک‌شده در حالت چگالی توان ثابت کیفیت ظاهری (رنگ) بهتری نسبت به حالت متغیر داشت و افزایش سطوح چگالی توان و کاهش دما باعث کاهش کیفیت محصول از بابت رنگ شد. همچنین محصول خشک‌شده با چگالی توان ثابت در مقایسه با چگالی توان متغیر و استفاده از هوای گرم نسبت به هوای محیط باعث افزایش ظرفیت بازجذبی محصول شد.

مقدمه

قارچ‌ها به‌دلیل سرعت تنفس، محتوای رطوبتی و فعالیت‌های آنزیمی بالا دارای دورهٔ ماندگاری بسیار کم نسبت به سایر محصولات هستند و تقریباً بعد از برداشت، کاهش کیفیت آن شروع می‌شود. لذا باتوجه‌به ارزش تغذیه‌ای بالای قارچ و زمان ماندگاری پایین آن انجام اقداماتی جهت افزایش زمان ماندگاری با حفظ ارزش تغذیه‌ای آن حائز اهمیت است (Kotwaliwale *et al.*, 2007; Argyropoulous *et al.*, 2011). باتوجه‌به نقش عمدهٔ آب در فسادپذیری قارچ خوراکی که حدود ۹۰ درصد از این محصول را تشکیل می‌دهد، خشک‌کردن یکی از روش‌های مناسب است که با محدودکردن رشد میکروارگانیسم‌ها و فعالیت‌های آنزیمی زمان ماندگاری این محصول را از چندروز به چندماه تا یک‌سال افزایش می‌دهد (خوش‌تقاضا و همکاران، ۱۳۹۵؛ Zhang *et al.*, 2005).

از میان روش‌های خشک‌کردن، در روش هیبریدی مایکروویو-هوای گرم، عملیات خشک‌کردن محصولات کشاورزی به‌صورت ترکیبی انجام می‌گیرد و انتقال حرارت به دو روش همرفتی به کمک جریان هوای گرم و گرمایش حجمی به کمک مایکروویو صورت می‌گیرد که منجربه آن می‌شود که خشک‌کردن محصولات با این روش ترکیبی مزایای هر دو روش خشک‌کردن به روش مایکروویو و جریان هوای گرم را

هم‌زمان دارا باشد (Zhang *et al.*, 2005). در واقع در خشک‌کردن به روش هوای گرم، خشک‌کردن از سطح محصول آغاز می‌شود و به تدریج به عمق نفوذ می‌کند. درحالی‌که در روش مایکروویو به‌دلیل عمقی‌بودن حرارت تولیدشده از نوسانات و برخورد مولکول‌های قطبی آب درون محصول، رطوبت محصول از درون محصول به سمت سطح حرکت می‌کند، جریان هوای گرم نیز در جذب آب آزاد موجود در سطح یا نزدیک سطح نقش مهم و مؤثری دارد (Andres *et al.*, 2004; Abbasi Souraki & Mowala, 2008). Rhim و Lee (۲۰۱۱) از این روش برای خشک‌کردن قارچ اسلایس‌شده و قارچ کامل استفاده کردند. همچنین Torringa و همکاران (۲۰۰۱) اثر پیش‌تیمار اسمزی و خشک‌کردن در خشک‌کن هیبریدی مایکروویو-هوای گرم بر نرخ خشک‌شدن و کیفیت اسلاید قارچ را بررسی کردند.

چگالی توان یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر فرایند خشک‌شدن محصولات در خشک‌کن‌های مایکروویو است. در اغلب پژوهش‌های قبلی (Kisselmina *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2011) در ابتدای فرایند خشک‌کردن یک سطح توان به دستگاه اعمال‌شده و تا انتهای فرایند ثابت باقی‌می‌ماند. لذا در طول فرایند خشک‌کردن به‌دلیل کاهش محتوای رطوبتی محصول و ثابت‌بودن سطح توان دستگاه، چگالی توان (گرم/وات) به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کرد و به چند برابر مقدار چگالی توان اولیه می‌رسید. افزایش چگالی توان باعث افزایش شدید و بی‌هدف دمای محصول در مراحل پایانی فرایند خشک‌شدن، ایجاد سوختگی در سطح محصول و آسیب جدی به بافت داخلی محصول و به‌طورکلی اُفت کیفیت محصول نهایی می‌شود. برای جلوگیری از کاهش کیفیت محصول، می‌توان توان ورودی به خشک‌کن در طول فرایند خشک‌کردن باتوجه‌به مقدار کاهش رطوبت محصول کم کرد تا چگالی توان در حین انجام فرایند تقریباً ثابت بماند (Kisselmina *et al.*, 2013). دما و سرعت هوای ورودی شاخص‌های مهمی در خشک‌کردن به روش جریان هوای گرم یا ترکیب این روش با سایر روش‌هاست که هم بر شدت خشک‌شدن و هم بر میزان انرژی مصرفی دستگاه خشک‌کن تأثیرگذار است.

نوع خشک‌کن و شرایط خشک‌کردن روی پارامترهای کیفی محصول خشک‌شده مانند رنگ، چروکیدگی، ظرفیت بازجذبی، بافت و ویتامین‌ها، میزان انرژی مصرفی و راندمان خشک‌کن بسیار تأثیرگذار است. Alibas (۲۰۰۷) برای خشک‌کردن کدوتنبل از ۳ روش مایکروویو، جریان هوای گرم و روش ترکیبی جریان هوای گرم–مایکروویو استفاده نمود و مشاهده کرد مناسب‌ترین روش برای خشک‌کردن این محصول با درنظرگرفتن زمان، انرژی مصرفی و تغییرات رنگ روش ترکیبی جریان هوای گرم–مایکروویو است. مطلوب‌ترین شرایط در این روش خشک‌کردن با دمای هوای ۷۵ درجهٔ سلسیوس و توان مایکروویو۳۵۰ وات است که در این حالت زمان خشک‌شدن ۳۰ دقیقه و انرژی مصرفی ۰/۲۹کیلووات ساعت بود. Sharma و Prasad (۲۰۰۶) از خشک‌کن ترکیبی جریان هوای گرم–مایکروویو برای خشک‌کردن پیازچهٔ سیر استفاده کردند. در این تحقیق اثر توان مایکروویو، سرعت و دمای هوا را بر پارامترهای کیفی محصول خشک‌شده نظیر (رنگ، بو، ویتامین C و ضریب بازجذبی آب) و مقدار انرژی مخصوص مصرفی بررسی کردند. نتایج نشان داد که بهترین شرایط خشک‌کردن باتوجه‌به پارامترهای کیفی موردنظر و همچنین کمترین میزان انرژی مصرفی، توان ۴۰ وات، دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه است. شریفیان (۱۳۹۱) به مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن انجیر با استفاده از خشک‌کن مایکروویو پرداخت. نتایج حاصله نشان‌داد که با افزایش چگالی توان مایکروویو رنگ محصول نهایی روشن‌تر می‌شود و مقدار چروکیدگی کمتر می‌شود. ضمن اینکه مقدار انرژی مخصوص مصرفی نیز با افزایش چگالی توان کاهش می‌یابد. Kisselmina و همکاران (۲۰۱۳) در خشک‌کردن برگهٔ گوجه‌فرنگی به روش ترکیبی مایکروویو–جریان هوای گرم در دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر، سعی در بهبود کیفیت محصول خشک‌شده داشتند. نتایج حاصله نشان داد که در روش خشک‌کردن با چگالی

توان ثابت محصول خشک‌شده دارای بافت بهتر، میزان چروکیدگی کمتر و تغییرات رنگ کمتری نسبت به حالت چگالی توان متغیر است.

اکثر پژوهش‌های انجام‌گرفته با چگالی توان متغیر بوده است. در تحقیق حاضر آزمایش‌ها به دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر با سطوح چگالی توان مختلف در دماهای مختلف هوای گرم روی قارچ دکمه‌ای انجام گرفت تا تأثیر این عوامل تأثیرگذار روی پارامترهای کیفی رنگ، ظرفیت بازجذبی، زمان خشک‌شدن و راندمان خشک‌کن ارزیابی گردد.

مواد و روش‌ها

محصول

در این پژوهش از قارچ دکمه‌ای استفاده شد و تا قبل از شروع آزمایش‌ها به‌منظور حفظ رنگ ظاهری، طراوت و تازگی در یخچال و در دمای ۱± ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. برای تعیین رطوبت اولیهٔ محصول از استاندارد AOAC (۱۹۸۰) استفاده گردید. در این پژوهش نمونه‌های قارچ به‌صورت کامل روی سینی محفظهٔ خشک‌کن قرار داده شد (شکل ۱- الف).



الف



ب

شکل ۱ - الف) نمونه‌های قارچ روی سینی، ب) نمایی از محفظهٔ خشک‌کن

دستگاه خشک‌کن

برای انجام آزمایش‌ها از دستگاه خشک‌کن موجود در آزمایشگاه خواص گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه که توسط حاضر وظیفه (۱۳۹۱) طراحی و ساخته‌شده بود، استفاد شد. خشک‌کن موردنظر یک خشک‌کن هیبریدی مایکروویو-جریان هوای گرم می‌باشد.

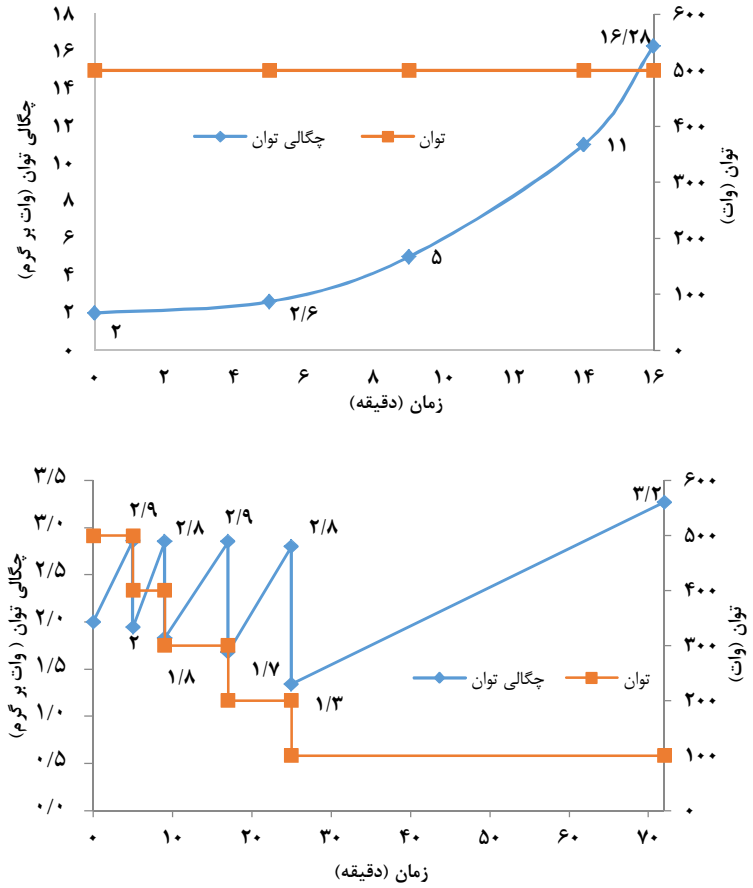
برای ایجاد جریان هوا با سرعت‌های مختلف از یک دمندهٔ محوری و یک دیمر استفاده شده است. هوا قبل از واردشدن به محفظهٔ خشک‌کن برای گرم‌کردن از میان ۶ المنت حرارتی عبور می‌کند و برای کنترل دمای هوای گرم ورودی به محفظهٔ خشک‌کن از یک حسگر دما (مدل PT100، ساخت چین) در مسیر جریان هوای گرم، ترموستات و کنتاکتور استفاده شد. همچنین برای تولید امواج مایکروویو از یک لامپ مگنترون با توان ۱/۳ کیلووات و فرکانس ۲/۴۵ مگاهرتز استفاده شد.

محفظهٔ خشک‌کن به‌صورت یک مستطیل در ابعاد ۲۲×۳۵×۳۸ سانتی‌متر ساخته شده و از جنس ورقهٔ گالوانیزه است (شکل ۱-ب). جریان هوای گرم که از قسمت پایین محفظه از یک صفحهٔ فلزی مشبک وارد محفظهٔ خشک‌کن می‌شود و پس از عبور از میان لایهٔ محصول از یک کانال دیگر که در قسمت بالای محفظه تعبیه‌شده است همراه با بخار آب حاصل از خشک‌شدن محصول خارج می‌شود. برای اندازه‌گیری جرم محصول از یک نیروسنج خمشی (Sewhacnm، AB120، ساخت کره) با دقت ۱ گرم استفاده شد.

تیمارهای آزمایش

آزمایش‌ها براساس طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل بود. فاکتورهای موردمطالعه در این تحقیق، شامل حالت چگالی توان در دو حالت متغیر (بدون تغییر توان ورودی، شکل ۲-الف) و ثابت (با تغییر توان ورودی، شکل ۲-ب)، ۳ سطح چگالی توان ۱/۵، ۲ و ۲/۵ وات بر گرم (شریفیان، ۱۳۹۱؛ محبی، ۱۳۹۳؛

Kisselmina *et al.*, 2013) در ابتدای فرایند و دمای هوای ورودی در ۳ سطح به‌ترتیب ۲۳ (دمای محیط)، ۵۰ و ۷۰ درجهٔ سلسیوس بود (حاضر وظیفه، ۱۳۹۱؛ محبی، ۱۳۹۳). چگالی توان (وات بر گرم) مایکروویو عبارت است از تقسیم میزان توان مصرفی توسط لامپ مگنترون نسبت به وزن محصول. همچنین سرعت هوای ورودی در تمام تیمارها مقدار ثابت ۰/۲۵ متر بر ثانیه و خشک‌کردن تا رسیدن به محتوای رطوبتی ۱۰ درصد بر پایهٔ تَر ادامه داشت و تمام آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام گرفت. برای ثابت نگه‌داشتن چگالی توان، توان ورودی دستگاه باتوجه‌به میزان کاهش جرم محصول کاهش داده شد تا میزان چگالی توان در طول آزمایش تقریباً ثابت بماند. البته باتوجه‌به محدودیت دستگاه و وجود ۵ سطح توانی ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ وات در طی آزمایش‌ها، فقط ۴ مرحله کاهش توان را می‌توان اعمال کرد (شکل ۲-ب).



شکل ۲ - تغییرات توان و چگالی توان با زمان الف) چگالی توان متغیر، ب) چگالی توان تقریباً ثابت (دمای هوا ۷۰ درجهٔ سلسیوس و چگالی توان ۲ وات بر گرم)

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی

به‌منظور ارزیابی کیفیت محصول خشک‌شده، تغییرات رنگ محصول و ظرفیت بازجذبی محصول در تیمارهای مختلف موردمطالعه قرار گرفت. جهت مطالعهٔ تغییرات رنگ محصول خشک‌شده از یک سامانهٔ بینایی ماشین که متشکل از یک محفظهٔ تصویربرداری، سیستم روشنایی با استفاده از ۴ لامپ هالوژن و یک دوربین تصویربرداری (Cybershot DCS-WX200) به همراه الگوریتم سادهٔ پردازش تصویر برای اندازه‌گیری تغییرات رنگ در فضای L*a*b* قبل و بعد از خشک‌شدن استفاده شد (Sharifian *et al.*, 2013). الگوریتم پردازش تصویر موردنظر در نرم‌افزار Matlab نسخهٔ ۲۰۱۵ نوشته شد و برای تبدیل تصاویر RGB گرفته‌شده توسط دوربین به فضای رنگی L*a*b* از دستور rgb2lab استفاده شد. برای‌این‌منظور در هر تیمار آزمایش، ۳ نمونه از

محصول به‌صورت تصادفی انتخاب و شماره‌گذاری شدند. قبل و بعد از خشک‌شدن از هریک از نمونه‌ها تصویربرداری شد و علاوه‌بر شاخص‌های رنگ L*، a* و b*، تغییر کلی رنگ (ΔE)، کروما یا شاخص اشباع (C) و شاخص قهوه‌ای‌شدن محصول (Bi) با استفاده از رابطه‌های (۱) تا (۴) محاسبه شدند (شریفیان، ۱۳۹۱؛ محبی، ۱۳۹۳):

رابطهٔ (۱)

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

رابطهٔ (۲)

$$C = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$$

رابطهٔ (۳)

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

رابطهٔ (۴)

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.64L^* + a^* - 3.012b^*)}$$

در رابطه‌های (۱، ۲، ۳ و ۴)، میانگین مقادیر اولیهٔ پارامترهای رنگی L^*_0=۶۹/۴۱، a^*_0=۳/۱۱ و b^*_0=۱۱/۲۱ به‌دست آمد.

برای اندازه‌گیری ظرفیت بازجذبی نمونه‌ها از روش غوطه‌ورسازی در آب‌مقطر استفاده شد. از نمونه‌های خشک‌شده هر تکرار، ۳ نمونه انتخاب‌شده و پس از توزین به ۲۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه شدند و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق (۲±۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد) نگهداری شدند (محبی، ۱۳۹۳). بعد از آن نمونه‌ها از آب‌مقطر خارج و رطوبت سطحی آنها با دستمال نرم گرفته شد و نمونه دوباره توزین شدند. ظرفیت بازجذبی با استفاده از رابطهٔ (۵) محاسبه شد (محبی، ۱۳۹۳).

رابطهٔ (۵)

$$Rr = \frac{W_r}{W_d}$$

در رابطهٔ (۵)، پارامترها به‌ترتیب عبارتند از Rr: ظرفیت بازجذبی، W_r: جرم نمونه بعد از آب‌گیری مجدد برحسب گرم و W_d: جرم نمونهٔ خشک‌شده برحسب گرم است.

راندمان انرژی خشک‌کردن

جریان برق ورودی به مدار تغذیهٔ لامپ مگنترون و همچنین جریان برق مورداستفاده در قسمت جریان هوای گرم، ابتدا از یک انرژی‌سنج عبور داده شد و سپس وارد مدار تغذیه گردید. روی صفحه نمایش این انرژی‌سنج، ولتاژ، جریان عبوری، توان مصرفی و همچنین کل انرژی مصرفی در زمان کارکرد دستگاه نمایش داده می‌شود. راندمان انرژی خشک‌کردن از طریق رابطهٔ (۶) محاسبه شد (Hazervazifeh *et al.*, 2016; Horuz *et al.*, 2018).

رابطهٔ (۶)

$$\eta = \frac{W_{eva} \times \lambda}{E_1 + E_2} \times 100$$

در رابطهٔ (۶)، پارامترها عبارتند از E_1: انرژی کل مصرفی در طول فرایند برای تولید جریان هوای گرم (کیلوژول)، E_2: انرژی کل مصرفی در طول فرایند برای تولید امواج مایکروویو (کیلوژول)، W_{eva}: جرم رطوبت خارج‌شده از محصول (گرم) و λ برابر با گرمای نهان تبخیر آب (۲۲۶۰ کیلوژول) می‌باشد.

آنالیز آماری

برای تحلیل نتایج این تحقیق باتوجه‌به تأثیر هم‌زمان چندین عامل در فرایند خشک‌کردن محصول، تیمارهای مختلف آزمایش براساس طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل انجام شد. تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین‌ها برای بررسی تأثیر متغیرهای مستقل و اثرات متقابل میانگین‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۹ انجام شد. علاوه‌بر این از آزمون توکی برای مقایسهٔ میانگین‌ها در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

مقدار رطوبت اولیهٔ محصول بر پایهٔ تَر ۸۹/۶۵ درصد به‌دست آمد. نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس زمان خشک‌کردن (جدول ۱) نشان‌دهندهٔ آن است که اثر فاکتورهای سطوح چگالی توان، حالت چگالی توان، دما و اثر متقابل دما و حالت چگالی توان روی زمان خشک‌کردن در سطح ۱ درصد معنی‌دار است ولی اثر متقابل سایر فاکتورها معنی‌دار نیست.

جدول ۱ - نتایج آنالیز واریانس زمان خشک‌کردن، ظرفیت بازجذبی و راندمان خشک‌کردن

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات		
		زمان	ظرفیت بازجذبی	راندمان
سطوح چگالی توان	۲	۵۸۳۶/۷۴**	۰/۰۳۷*	۱۰۵/۵**
دما	۲	۳۰۲۸/۹**	۰/۳۹۷**	۸۵۱/۳**
حالت چگالی توان	۱	۱۳۸۰/۱**	۰/۶۸۳**	۳۶۴/۳۶**
سطوح چگالی توان×دما	۴	۳۷/۱۸^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱۱/۹۶**
سطوح چگالی توان×حالت چگالی توان	۲	۶/۲۲^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۲/۳۱**
دما×حالت چگالی توان	۲	۱۲۶۶۰/۱**	۰/۰۵۹**	۱۷۱/۶**
سطوح چگالی توان×حالت چگالی توان×دما	۴	۱۰/۲۲^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۷/۹۴**
خطای آزمایش	۳۶	۲۴/۶۱	۰/۰۱	۰/۰۲۴
کل	۵۳			

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار

همچنین نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که بیشترین زمان خشک‌کردن ۱۲۷/۳۲ دقیقه مربوط به تیماری با حالت چگالی توان ثابت ۱/۵ وات بر گرم و دمای ۲۳ درجهٔ سلسیوس (دمای محیط) و کمترین زمان خشک‌شدن نیز ۱۶ دقیقه مربوط به چگالی توان متغیر ۲/۵ وات بر گرم و دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس می‌باشد. با افزایش دمای هوای گرم و چگالی توان زمان خشک‌کردن کاهش می‌یابد. همچنین ثابت نگهداشتن چگالی توان باعث افزایش زمان خشک‌کردن به نسبت قابل‌توجهی نسبت به حالت چگالی توان متغیر شده است.

در حالت چگالی توان متغیر سطوح توانی ورودی به دستگاه در طول فرایند ثابت می‌ماند، درنتیجه مقدار چگالی توان در طول فرایند بسیار افزایش می‌یابد و تقریباً ۸/۲ برابر می‌شود. برای مثال چگالی توان متغیر ۲ وات بر گرم در ابتدای فرایند این مقدار به ۱۶/۴ وات بر گرم در پایان فرایند می‌رسد که این باعث کاهش چشم‌گیری در زمان فرایند نسبت به حالت چگالی توان ثابت می‌شود که در پایان فرایند مقدار آن تقریباً ۳/۲۷ وات بر گرم می‌رسد. محققین دیگر نیز در خشک‌کردن با چگالی توان ثابت و متغیر به نتایج مشابهی دست‌یافتند (Kisselmina *et al.*, 2013; Botha *et al.* 2012). شریفیان (۱۳۹۱) در خشک‌کردن انجیر با چگالی توان متغیر به نتایج مشابهی دست‌یافت.

جدول ۲ - مقایسهٔ میانگین‌های زمان خشک‌کردن

حالت چگالی توان	دما	سطوح چگالی توان		
		۲/۵	۲	۱/۵
متغیر	۲۳	۸۱^{cd}	۵۲^{fg}	۳۵^{hi}
	۵۰	۵۶^{fg}	۴۲^{gh}	۲۴^{ij}
	۷۰	۵۲^{fg}	۳۳/۳^{hi}	۱۶^{j}
ثابت	۲۳	۱۲۷/۳۲^{a}	۱۰۲/۶۶^{b}	۸۳/۳۳^{cd}
	۵۰	۹۶^{bc}	۸۴^{cd}	۶۵/۴^{ef}
	۷۰	۹۰^{bc}	۷۱^{de}	۵۸^{ef}

حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی است.

نتایج آنالیز واریانس پارامترهای رنگ نشان‌دهندهٔ آن بود (جدول ۳) اثر فاکتور دما و حالت چگالی توان روی هر ۶ شاخص معنی‌دار بوده و نیز اثر فاکتور سطح چگالی توان به جزء شاخص a^* روی سایر شاخص‌ها معنی‌دار است. درمورد اثر متقابل فاکتور نیز مشاهده شد که به جزء اثر متقابل فاکتور دما-حالت چگالی توان که روی شاخص a^* معنی‌دار شد اثر متقابل هیچ فاکتور دیگری روی شاخص‌های رنگی معنی‌دار نیست.

نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول ۴) نشان‌دهندهٔ آن است که کم‌ترین مقدار L^* (روشنایی) برابر ۵۲/۱۴ می‌باشد، یعنی بیشترین تغییرات نسبت به مقدار اولیه L^* مربوط به تیماری با حالت چگالی توان متغیر ۲/۵ وات بر گرم و دمای ۲۳ درجهٔ سلسیوس است. یعنی تیره‌ترشدن محصول خشک‌شده، که این تیمار دارای بیشترین مقدار برای a^* (قرمزی - سبزی) و b^* (زردی

- آبی) که به‌ترتیب ۱۶/۲۸ و ۴۵/۹۹ (بیشترین مقدار تغییرات نسبت به مقدار اولیه a^* و b^*) است که تمایل به قرمزی و زردی محصول را نشان می‌دهد.

جدول ۳ - نتایج آنالیز واریانس پارامترهای رنگی در خشک‌کردن قارچ

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات					
		L^*	a^*	b^*	ΔE	Bi	C
سطوح چگالی توان	۲	۷۲/۸۳**	۸/۱۹^{ns}	۳۴۸/۵۶**	۴۱۴/۹۸**	۸۹۱۴/۸**	۳۴۵/۶**
دما	۲	۲۶۵/۷۸**	۷۷/۹۵**	۵۱۶/۷۳**	۸۱۷/۱۵**	۱۶۳۰۴/۹**	۵۹۳/۳**
حالت چگالی توان	۱	۲۸۸/۳۱**	۶۸/۲**	۶۱۹/۲۹**	۹۶۰/۷۸**	۱۹۳۸۹/۹**	۷۶۴/۰۱**
سطوح چگالی توان×دما	۴	۰/۳۷۶^{ns}	۱/۸۴^{ns}	۱۰/۹۸^{ns}	۶/۷^{ns}	۳۶۶/۴^{ns}	۸/۹^{ns}
سطوح چگالی توان×حالت چگالی توان	۲	۱۲/۲^{ns}	۲/۲۴^{ns}	۵۰/۰۳^{ns}	۴۹/۷^{ns}	۲۱۵۵/۴^{ns}	۳۹/۵^{ns}
دما×حالت چگالی توان	۲	۱۰/۹۱^{ns}	۸/۴*	۴۷/۸۶^{ns}	۵۳/۲^{ns}	۱۳۵۴/۲^{ns}	۴۷/۱^{ns}
سطوح چگالی توان×حالت چگالی توان×دما	۴	۱/۵۳^{ns}	۱/۸۹^{ns}	۱۱/۵۲^{ns}	۱۴/۳۴^{ns}	۱۴۸^{ns}	۱۲/۹۹^{ns}
خطای آزمایش	۳۶	۹/۵۳	۲/۵۶	۳۹/۷	۳۴/۴	۸۸۴/۵۸	۳۵/۵۴
کل	۵۳						

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۴ - مقایسهٔ میانگین‌های پارامترهای رنگی در خشک‌کردن قارچ

حالت چگالی توان	دما	سطح چگالی توان	میانگین مربعات					
			L^*	a^*	b^*	ΔE	Bi	C
متغیر	۲۳	۱/۵	۵۶/۵۸ ^{cde}	۱۵/۶ ^{ab}	۳۶/۷۲ ^{abc}	۳۱/۵^{abcd}	۱۱۸/۵^{abc}	۳۹/۹۴^{ab}
		۲	۵۴/۳۶ ^{de}	۱۵/۶۷ ^{ab}	۳۹/۹۸ ^{ab}	۳۵/۲۵^{ab}	۱۴۰^{ab}	۴۲/۹۳^{ab}
		۲/۵	۵۲/۱۴ ^{e}	۱۶/۲۸ ^{a}	۴۵/۹۹ ^{a}	۴۱/۰۸^{a}	۱۹۷/۱^{a}	۴۸/۶^{a}
	۵۰	۱/۵	۶۳/۹۱ ^{abc}	۱۰/۹۲ ^{bc}	۲۷/۲۳ ^{abc}	۱۸/۸۲ ^{bcde}	۶۶/۹۲ ^{bc}	۲۹/۳۸ ^{bc}
		۲	۶۲/۰۴ ^{abcd}	۱۱/۱۲ ^{bc}	۳۰/۲۷ ^{abc}	۲۲/۴۳ ^{bcde}	۸۰/۸۱ ^{bc}	۳۲/۳۸ ^{abc}
		۲/۵	۵۸/۵۴ ^{abcde}	۱۱/۴۱ ^{abc}	۳۷/۹۱ ^{abc}	۳۰/۲۹ ^{abcd}	۱۱۱/۹۶ ^{abc}	۳۹/۶ ^{abc}
	۷۰	۱/۵	۶۴/۸۹ ^{abc}	۱۰/۸۲ ^{bc}	۲۳/۳۵ ^{bc}	۱۵/۲۱ ^{cde}	۵۶/۶ ^{bc}	۲۵/۷۴ ^{bc}
		۲	۶۱/۲۸ ^{abcde}	۱۱/۳۴ ^{bc}	۳۴/۴۳ ^{abc}	۲۶/۱۴ ^{abcde}	۹۷/۲ ^{bc}	۳۶/۳ ^{abc}
		۲/۵	۵۷/۷۴ ^{bcde}	۱۱/۶۴ ^{abc}	۳۹/۹۷ ^{ab}	۳۲/۷۷ ^{abc}	۱۲۹/۸۵ ^{abc}	۴۱/۸۲ ^{ab}
ثابت	۲۳	۱/۵	۶۰/۴۷ ^{abcde}	۱۰/۶ ^{c}	۳۱/۴ ^{abc}	۲۳/۵ ^{abcd}	۸۴ ^{bc}	۳۲/۹۵ ^{abc}
		۲	۵۸/۹۹ ^{abcde}	۱۱/۹۶ ^{sbc}	۳۳/۵ ^{abc}	۲۶/۸ ^{abcd}	۹۷/۵ ^{bc}	۳۵/۸ ^{abc}
		۲/۵	۵۷/۸۵ ^{abcde}	۱۴/۵۴ ^{abc}	۳۵/۸ ^{abc}	۳۱/۳۷ ^{abcd}	۱۱۱/۷ ^{abc}	۳۸/۳۴ ^{abc}
	۵۰	۱/۵	۶۵/۳۶ ^{abc}	۹/۳۹ ^{c}	۲۴/۴۷ ^{bc}	۱۵/۳۷ ^{cde}	۵۷/۰۳ ^{bc}	۲۶/۲۳ ^{bc}
		۲	۶۳/۵۸ ^{abcd}	۱۰/۲۱ ^{c}	۲۸/۵۱ ^{abc}	۱۹/۹۵ ^{bcde}	۷۱/۲۹ ^{bc}	۳۰/۳۷ ^{abc}
		۲/۵	۶۲/۵۶ ^{abcd}	۱۰/۸۷ ^{bc}	۲۹/۷۵ ^{abc}	۲۱/۶۳ ^{bcde}	۷۴/۸ ^{bc}	۳۱/۶۹ ^{abc}
	۷۰	۱/۵	۶۷/۴۳ ^{a}	۹/۰۴ ^{c}	۱۸/۸۸ ^{c}	۱۰/۱ ^{e}	۴۲/۳۲ ^{c}	۲۰/۹۴ ^{c}
		۲	۶۶/۵۶ ^{ab}	۹/۲۳ ^{c}	۲۳/۲۱ ^{bc}	۱۳/۸۸ ^{de}	۵۲/۴۱ ^{bc}	۲۴/۹۸ ^{bc}
		۲/۵	۶۵/۶۶ ^{abc}	۹/۲۷ ^{c}	۲۳/۶۵ ^{bc}	۱۴/۹۷ ^{cde}	۵۴/۶۱ ^{bc}	۲۵/۴۷ ^{bc}

حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی است.

بیشترین مقدار L^* برابر ۶۷/۴۳ یعنی کمترین تغییرات نسبت به مقدار اولیه L^* مربوط به تیماری با چگالی توان ثابت ۱/۵ وات بر گرم و دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس است، ضمن اینکه همین تیمار دارای کمترین مقدار برای a^* و b^* (کمترین مقدار تغییرات نسبت به مقدار اولیه a^* و b^*) می‌باشد.

درمورد اثر سطوح چگالی توان همان‌طورکه مشاهده می‌شود در هر دو حالت چگالی توان ثابت و

متغیر و در هر ۳ سطح دما با افزایش مقدار چگالی توان مقدار تغییرات L^*، a^* و b^* نیز بیشتر شده و محصول رنگ تیره‌تری به‌خودگرفته و تمایل به قرمز و زردی نیز در محصول زیاد می‌شود. Zhenfeng و همکاران (۲۰۱۰) در خشک‌کردن سیب در خشک‌کن مایکروویو، نوری و همکاران (۱۳۹۱) در خشک‌کردن جعفری در خشک‌کن مایکروویو-هوای گرم و شریفیان (۱۳۹۱) در خشک‌کردن انجیر در خشک‌کن مایکروویو به نتایج مشابهی دست‌یافت.

تغییرات رنگ کلی محصول تابع ۳ مؤلفهٔ L^*، a^* و b^* است. بیشترین مقدار ΔE برابر ۴۱/۰۸ است که مربوط به تیماری با چگالی توان متغیر ۲/۵ وات بر گرم و دمای ۲۳ درجهٔ سلسیوس است. شاخص قهوه‌ای‌شدن دیگر پارامتر رنگی است که درنتیجهٔ فعالیت‌های آنزیمی و غیرآنزیمی است. بیشترین مقدار این شاخص نیز در همین تیمار اتفاق افتاد و مقدار آن ۱۹۷/۱ بود که آن هم به‌دلیل حالت چگالی توان متغیر و به طبع آن بالارفتن دمای محصول بخصوص در انتهای فرایند خشک‌کردن و تغییرات زیاد مقادیر L^*، a^* و b^* اتفاق می‌افتاد. فرایند جذب مجدد آب محصولات خشک‌شده بستگی به تغییرات ساختار در بافت‌های گیاهی و سلول‌های مواد غذایی دارد. نتایج آنالیز واریانس نشان‌دهندهٔ آن است (جدول ۱) که اثر فاکتور دما، حالت چگالی توان و اثر متقابل دما و حالت چگالی توان در مقدار ظرفیت بازجذبی در سطح ۱ درصد معنی‌دار و اثر سطوح چگالی توان در سطح ۵ درصد معنی‌دار است، ولی اثر سایر فاکتورها معنی‌دار نبود. جدول (۵) نتایج مقایسهٔ میانگین‌های تغییرات ظرفیت بازجذبی آب را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود بیشترین مقدار ظرفیت بازجذب آب ۲/۵۱ است که مربوط به تیمار با چگالی توان ثابت ۲/۵ وات بر گرم و دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس است و کمترین مقدار آن نیز ۱/۷۹ مربوط به تیمار با چگالی توان ثابت ۱/۵ با حالت ثابت و دمای ۲۳ درجهٔ سلسیوس است.

در هر دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر با افزایش دما میزان ظرفیت بازجذب آب افزایش می‌یابد. هرچند این افزایش از دمای ۵۰ به دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد معنی‌دار نیست. همچنین در هر دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر با افزایش چگالی توان میزان ظرفیت بازجذب آب افزایش می‌یابد هرچند در اکثر تیمارها این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد. محبی (۱۳۹۳) نیز در خشک‌کردن گوجه‌فرنگی با حالت ترکیبی مایکروویو جریان هوای گرم به نتایج مشابهی دست‌یافت. ولی تغییر حالت چگالی توان کاملاً اثر معنی‌داری از خود نشان می‌دهد و همچنین تغییر حالت نیز از چگالی توان متغیر به ثابت به‌غیراز دمای ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد نیز باعث افزایش این شاخص کیفی می‌شود. دلیل آن این است که در حالت چگالی توان متغیر به‌خاطر اینکه محصول در زمان بسیار کوتاهی حجم زیادی از رطوبت خود را از دست می‌دهد و ازطرف‌دیگر مقدار چگالی توان در مراحل پایانی خشک‌شدن بسیار بالا می‌رود و تقریباً ۸/۲ برابر مقدار اولیه شده و باعث تخریب بافت و کاهش ظرفیت بازجذبی محصول می‌شود، ولی در حالت چگالی توان ثابت سعی‌شده با کاهش سطوح توانی دستگاه در طول فرایند خشک‌کردن مقدار چگالی توان تقریباً ثابت نگه‌داشته شود و از افزایش چگالی توان که باعث تخریب بافت و کاهش ظرفیت بازجذبی محصول می‌شود، جلوگیری گردد.

جدول ۵ - مقایسهٔ میانگین‌های ظرفیت بازجذب خشک‌کردن قارچ

حالت چگالی توان	دما	سطوح چگالی توان		
		۱/۵	۲	۲/۵
متغیر	۲۳	$۲/۱۳^{bc}$	$۲/۱۶۳^{bc}$	$۲/۲۰۳^{b}$
	۵۰	$۲/۱۵^{bc}$	$۲/۱۲^{bcd}$	$۲/۱۸۳^{b}$
	۷۰	$۲/۱۷^{bc}$	$۲/۱۸۴^{b}$	$۲/۱۹۶^{b}$
ثابت	۲۳	$۱/۷۹^{e}$	$۱/۸۳۳^{de}$	$۱/۸۷۳^{cde}$
	۵۰	$۲/۲۶۶^{ab}$	$۲/۲۸^{ab}$	$۲/۳۴^{ab}$
	۷۰	$۲/۲۷۵^{ab}$	$۲/۳۰^{ab}$	$۲/۵۱^{a}$

حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی است.

Dondee و همکاران (۲۰۱۱) در خشک‌کردن دانه‌های سویا در حالت ثابت نگه‌داشتن توان با کنترل دما به نتایج مشابهی دست‌یافت و نشان دادند که در این حالت به‌دلیل کنترل توان محصول نهایی

خشک‌شده آسیب‌های بافتی کمتری می‌بینند و مقدار بازجذبی آن نیز افزایش می‌یابد. Li و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که محصول خشک‌شده به این روش دارای کیفیت رنگ بهتر نسبت به روش بدون کنترل دماست، چون در این روش از افزایش دمای محصول در طول فرایند جلوگیری و درنهایت محصول آسیب بافتی کمتری می‌بینند. Kisselmina و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که محصول خشک‌شده در حالت ترکیبی مایکروویو-جریان هوای گرم دارای بافت بهتر نسبت به چگالی توان متغیر بدون کنترل توان است.

نتایج آنالیز واریانس نشان‌دهندهٔ آن است (جدول ۱) که اثر فاکتور دما، حالت چگالی توان و اثرات متقابل آنها روی راندمان خشک‌کردن در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. جدول (۶) نتایج مقایسهٔ میانگین راندمان خشک‌کردن را نشان می‌دهد. این نتایج نشان‌دهندهٔ آن است که استفاده از دمای هوای محیط بیشترین راندمان را دارد. خشک‌کردن با دمای محیط و چگالی توان ثابت ۱/۵ بیشترین راندمان خشک‌کردن (۴۴/۴۴ درصد) و دمای ۷۰ و چگالی توان ثابت ۱/۵ کمترین راندمان خشک‌کردن (۹/۷۷ درصد) را دارد. نتایج این تحقیق با نتایج Horuz و همکاران (۲۰۱۸) که نشان داده‌اند بازده خشک‌کن مایکروویو با هوای گرم با دمای ۵۰ تا ۷۰ درجهٔ سلسیوس در محدودهٔ ۲۰-۱۰ درصد قرار دارد، همخوانی دارد. استفاده از هوای گرم به‌جای هوای محیط به شدت راندمان خشک‌کردن را کاهش می‌دهد. همچنین راندمان خشک‌کردن با هوای گرم و چگالی توان ثابت نسبت به هوای گرم با چگالی متغیر به‌خاطر بالابودن زمان خشک‌کردن کم است.

جدول ۶ - مقایسهٔ میانگین‌های راندمان خشک‌کردن

حالت چگالی توان	دما	سطوح چگالی توان		
		۱/۵	۲	۲/۵
متغیر	۲۳	۳۰/۸۶^{b}	۳۱/۷۲^{ab}	۳۷/۶۷^{abc}
	۵۰	۱۷/۸۲^{bc}	۱۹/۲۵^{bcd}	۲۴/۵۳^{bcde}
	۷۰	۱۵/۶۵^{bcd}	۱۶/۴۰^{b}	۲۶/۹۶^{a}
ثابت	۲۳	۴۴/۴۴^{e}	۴۱/۴۵^{de}	۳۶/۸۳^{cde}
	۵۰	۱۴/۲۲^{ab}	۱۳/۰۵^{abc}	۱۲/۹۱^{abc}
	۷۰	۹/۷۷^{ab}	۱۰/۱۴^{abe}	۱۰/۷۹^{a}

حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان‌دهندهٔ آن بود که تغییر حالت چگالی توان از ثابت به متغیر، افزایش سطوح چگالی توان و افزایش دما باعث کاهش زمان فرایند خشک‌شدن محصول می‌شود. همچنین در حالت چگالی توان ثابت با دمای هوای ۵۰ و ۷۰ درجهٔ سلسیوس دارای کمترین راندمان خشک‌کردن بود، که به‌دلیل استفاده از جریان هوای گرم در این دو سطح دماست و با ثابت‌بودن مقدار چگالی توان، زمان فرایند افزایش می‌یابد که باعث کاهش راندمان خشک‌کردن می‌شود. ازنظر کیفیت محصول خشک‌شده با چگالی توان ثابت دارای کیفیت ظاهر (رنگ) بهتر نسبت به حالت چگالی توان متغیر است و افزایش سطوح چگالی توان باعث افزایش تغییرات رنگ، شاخص قهوه‌ای‌شدن و کروما و درنتیجه کاهش کیفیت ظاهری می‌شود و برعکس رنگ، افزایش چگالی توان و دما باعث افزایش مقدار ظرفیت بازجذبی محصول خشک‌شده می‌شود. درنهایت باتوجه‌به راندمان و پارامترهای کیفی، خشک‌کردن با چگالی توان ثابت ۱/۵ در دمای ۲۳ درجهٔ سلسیوس توصیه می‌شود.

منابع

۱- حاضر وظیفه، ا. ۱۳۹۱. طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن ترکیبی مایکروویو-هوای گرم. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۲- خوش‌تقاضا، م.ه.، حسین‌زاده سامانی، ب.، فیاضی، ا. و امیرنجات، ح. ۱۳۹۵. پیش‌بینی محتوی رطوبت خشک‌شدن لایهٔ نازک قارچ خوراکی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پس‌انتشار. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۱۳(۵۰):۱۷۱-۱۸۲.

۳- شریفیان، ف. ۱۳۹۱. مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن انجیر با استفاده از خشک‌کن مایکروویو. پایان‌نامهٔ دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۴- محبی، ص. ۱۳۹۳. ارزیابی پارامترهای کیفی گوجه‌فرنگی در فرایند خشک‌کردن با روش‌های مختلف. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۵- نوری، م.، کاشانی‌نژاد، م.، دارایی گرمه‌خانی، ا. و بلندی، م. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن جعفری با استفاده از روش ترکیبی هوای داغ-مایکروویو. نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی، ۲(۴):۱۲۲-۱۰۳.

6- Abbasi Souraki, B., & Mowla, D. 2008. Experimental and theoretical investigation of drying behavior of garlic in an inert medium fluidized bed assisted by microwave. Journal of Food Engineering, 88(4):438-449.

7- Alibas, I. 2007. Microwave, air and combined microwave-air drying parameters of pumpkin slices. LWT-Food Science and Technology, 40(80):1445-1451.

8- Andres, A., Bilbao, C., & Fito, P. 2004. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration. Journal of Food Engineering, 63(1):71-78.

9- AOAC. 1980. Official method of analysis. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.

10- Argyropoulos, D., Heindl, A., & Muller, J. 2011. Assessment of convection, Hot-air combined with microwavevacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality. International Journal of Food Science and Technology, 46(2):333-342.

11- Botha, G.E., Oliveira, J.C., & Ahrne, L. 2012. Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes. Journal of Food Engineering, 108(2):304-311.

12- Dondee, S., Meeso, N., Soponronnarit, S., & Siriamornpun, S. 2011. Reducing cracking and breakage of soybean grains under combined near-infrared radiation and fluidized-bed drying. Journal of Food Engineering, 104(1):6-13.

13- Hazervazifeh, A., Moghaddam, P.A., & Nikbakht, A.M. 2016. Microwave dehydration of apple fruit: Investigation of drying efficiency and energy costs. Journal of Food Process Engineering, 40(3): e12463.

14- Horuz, H., Bozkurt, H., Karataş, H., & Maskan, M. 2018. Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. Heat and Mass Transfer, 54(2):425-436.

15- Kisselmina, Y.K, Druon, C., Gnimpieba, E.Z., Delmotte, M., Duquenoy, A., & Laguerre, J.C. 2013. Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food. Journal of Food Engineering, 119(4):750-757.

16- Kotwaliwale, N., Bakane, P., & Verma, A. 2007. Change in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. Journal of Food Engineering, 78(4):1207-1211.

17- Li, Z., Raghavan, G.S.V., Wang, N., & Vigneault, C. 2011. Drying rate control in the middle stage of microwave drying. Journal of Food Engineering, 104(2):234-238.

18- Rhim, J.W., & Lee, J.H. 2011. Drying kinetics of whole and sliced shiitake mushrooms (*lentinus edodes*). Food Science and Biotechnology, 20(2):419-427.

19- Sharifian, F., Modarres-Motlagh, A., Komarizade, M.H., & Nikbakht, A.M. 2013. Colour change analysis of fig fruit during microwave drying. International Journal of Food Engineering, 9(1):107-114.

20- Sharma, G.P., & Prasad, S. 2006. Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves. Journal of Food Engineering, 75(4):441-446.

21- Torringa, E., Esveld, E., Scheewe, I., Berg, R.V.D., & Bartels, P. 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying mushrooms. Journal of Food Engineering, 49(2-3):185-191.

22- Zhang, M., Li, C.L., & Ding, X.L. 2005. Effects of heating conditions on the thermal denaturation of white mushroom suitable for dehydration. Drying Technology, 23(5):1119-1125.

23- Zhenfeng, L., Raghavan, G.S.V., & Orsat, V. 2010. Temperature and power control in microwave drying. Journal of Food Engineering, 97(4):478-483.

The Evaluation of Quality Parameters and Drying Efficiency of Button Mushroom in Hybrid Microwave-Hot Air Dryer

Amin Omari[1], Nasser Behroozi-Khazaei[2*], Faroogh Sharifian[3]

1- Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
* Corresponding author (nasserbehroozi@gmail.com & nbehroozi@uok.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

In this study, the button mushroom (agaricus bisporus) as a whole in a combined microwave-hot air dryer in two status of power density: fixed and variable, three levels of initial power density (1.5, 2 and 2.5 W/g) and three levels of hot air temperature (23, 50 and 70 ºC) were dried. Drying efficiency and the final dried product quality (color and rehydration ratio) were evaluated. The highest drying efficiency (44.44%) was obtained with 1.5 fixed power density and 23 °C. The results of color parameters showed that the dried product in constant power density status had better appearance (color) than the variable mode and also increased power density levels and reduced the air temperature increased the color changes and decreased final products quality. Also the dried product with constant power density in compared with variable power density and using the hot air in compared with environmental air had higher rehydration ratio.

Keywords: Color Parameters, Drying Time, Power Density, Rehydration Capacity

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۲۴۰-۲۲۵

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

ساخت و بررسی عملکرد غشای پلیمری ELVALOY®4170 جهت جداسازی و تغلیظ اسیدهای چرب امگا-۳

سمانه قاسمیان[۱]، رضا عابدینی[۲*]

۱- دانش آموختهٔ دکتری تکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
* نویسندهٔ مسئول (abedini@nit.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲

واژه‌های کلیدی
امگا-۳
دما
غشاء
فشار
گرفتگی

چکیده

امگا-۳ یکی از اسیدهایی است که در ساختمان برخی چربی‌ها وجودداشته و در سلامت انسان نقش ضروری ایفا می‌کند. لذا تحقیق‌های گسترده‌ای به‌منظور تغلیظ و خالص‌سازی امگا-۳ از روغن ماهی انجام گرفته است. در این پژوهش، به بررسی کارایی فرایند غشایی در تغلیظ اسیدهای چرب امگا-۳ بلندزنجیر موجود در فانوس ماهی که حاوی ۲۵/۲۳ درصد امگا-۳ بوده، پرداخته شده است. به‌منظور ساخت غشاء، از پلیمر ELVALOY®4170 استفاده شد و غشاء به روش ترسیب به‌واسطهٔ غوطه‌وری تهیه شد. ساختار غشای حاصله ازطریق میکروسکوپ الکترونی روبشی موردارزیابی قرار گرفت. در فرایند تغلیظ، اثرات ۳ پارامتر شامل دمای فرایند، فشار و نرخ هم‌زدن به روش آماری سطح پاسخ Box-Behnken موردمطالعه قرار گرفتند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی غشاء نشان داد غشای حاصله متشکل از ساختاری متخلخل به همراه یک لایهٔ فوقانی چگال بسیار نازک بوده است. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تغلیظ به روش آنالیز واریانس موردارزیابی قرار گرفت و نشان داد که در بین پارامترهای موردبررسی، دما از بیشترین تأثیر در فرایند تغلیظ برخوردار بوده است. علاوه‌بر این، رفتار گرفتگی غشاها در دور هم‌زدن‌های مختلف موردبررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که کمترین گرفتگی در حالت هم‌زدن برابر با ۱۰۰ دور در دقیقه اتفاق افتاد. در بین شرایط مختلف فرایند تغلیظ، بیشترین تغلیظ امگا-۳ در دمای ۴۰ درجهٔ سلسیوس، فشار ۵ بار و شدت هم‌زدن صفر و برابر با ۳۷/۳۲ درصد وزنی بود.

مقدمه

اسیدهای چرب امگا-۳ دارای اهمیت زیادی در صنایع غذایی و تغذیهٔ انسان هستند. در طی ۳۰ سال گذشته توجه بسیاری به خواص درمانی و تغذیه‌ای اسیدهای چرب چندغیراشباعی امگا -۳[۱] موجود در روغن ماهی شده است. این اسیدها شامل آلفالینولنیک اسید[۲] و اسیدهای چرب غیراشباع بلندزنجیر یعنی ایکوزاپنتاانوئیک اسید (EPA)[۳] و دوکوزاهگزاانوئیک اسید (DHA)[۴] می‌باشند. آلفالینولنیک اسید قادر است در بدن سبب سنتز EPA و DHA شود (AOCS, 2009). میزان این تبدیل بسیار کم است و به‌همین‌دلیل EPA و DHA به‌عنوان اسیدهای چرب

[1] Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids
[2] Alpha Linolenic Acid
[3] Eicosapentaenoic Acid
[4] Docosahexaenoic Acid

ضروری درنظرگرفته می‌شوند (Chen *et al*., 2007; Hibino *et al*., 1995).

به‌دلیل اهمیت تغذیه ای اسیدهای چرب امگا-۳ تحقیق‌های مختلفی درزمینهٔ خالص‌سازی و استخراج این ترکیبات از روغن ماهی انجام گرفته است که مهم‌ترین آنها شامل فراوری‌های کروماتوگرافی، استفاده از کمپلکس اوره، روش‌های آنزیمی، تبلور در دماهای پایین، استخراج با سیال فوق‌بحرانی و فرایندهای تغلیظ مانند تقطیر ساده و تقطیر مولکولی می‌باشد (Kolanowski & Laufenberg, 2006; Kolanowski *et al*., 2007).

از مشکلات اصلی روش‌های یادشده می‌توان به مصرف انرژی بالا، کاهش جذب روده‌ای اسیدهای چرب امگا-۳ در بدن به‌علت خارج‌شدن از ساختار طبیعی تری‌گلیسریدی، استفاده از ترکیبات شیمیایی و حلال‌های آلی و نیاز به یک مرحلهٔ اضافی به‌منظور جداسازی اسیدهای چرب امگا-۳ پس از تغلیظ اشاره نمود. لذا استفاده از یک روش مناسب که تا حد امکان از بازده قابل‌قبولی برخوردار بوده و عاری از معایب روش‌های مرسوم ذکرشده باشد، ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های جداسازی غشایی به‌عنوان یکی از گزینه‌های ویژه در صنعت غذایی می‌توانند تا حد قابل‌قبولی در جداسازی این ترکیبات از روغن ماهی مورداستفاده قرار گیرند. کاربرد فناوری جداسازی غشایی نسبت به فرایندهای معمولی و کلاسیک جداسازی، دارای مزیت‌های فراوانی است که می‌توان از میان آنها به مصرف انرژی کمتر، انجام‌شدن آنها در دماهای پایین‌تر، کم‌بودن هزینهٔ سرمایه‌گذاری و عملیاتی، سبک و کم حجم‌بودن واحد، توانایی جداسازی مواد حساس به دما اشاره کرد. وجود مزایای فوق سبب گسترش استفاده از غشاها در صنایع مختلف جداسازی اعم از شیرین‌سازی آب، تصفیهٔ پساب، جداسازی گازها و صنایع شده است (Mehrparvar & Rahimpour, 2015; James *et al*., 2003).

امروزه استفاده از انواع پلیمرها در ساخت غشاها به‌دلیل ارزان‌تربودن، شکل‌دهی مناسب و آسان و تغییر در ساختار غشاء هنگام ساخت آن، موردتوجه قرار گرفته است. پلیمرها بسته به آب‌دوست و آب‌گریزبودن از کاربردهای مختلفی در صنایع غذایی برخوردار هستند. از این کاربردها می‌توان به تولید پودر تخم‌مرغ، افزایش پایداری و شفاف‌سازی آب‌میوه‌ها، جداسازی ژلاتین از کلاژن، جداسازی فسفولیپیدها از روغن و غیره اشاره کرد (Letisse *et al*., 2006; Juang *et al*., 2008).

Kumar و Bhowmick (۲۰۰۶) به بررسی جداسازی اسیدهای چرب آزاد از تری‌آسیل گلیسرول‌ها به‌وسیلهٔ روش غشایی در روغن بادام‌زمینی پرداختند. در ابتدا مخلوط تری‌آسیل گلیسرول‌ها و اسیدهای چرب به‌وسیلهٔ حلال الکل از بادام‌زمینی استخراج شد، سپس توسط غشاهای استات سلولز، پلی‌آمید و پلی‌سولفونی جداسازی شدند. نتایج نشان داد که غشاهای پلی‌آمیدی دارای انتخاب‌گری بالاتری در جداسازی اسیدهای چرب در مقایسه با غشاهای استات سلولز و پلی‌سولفونی هستند و بهترین جداسازی اسیدهای چرب آزاد به میزان ۴۶/۸۲ درصد در نمونهٔ اولیهٔ حاوی ۳۱/۷۱ درصد اسید چرب آزاد انجام گرفت.

Azmi و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی حذف اسیدهای چرب آزاد و فسفولیپیدها در روغن پالم با استفاده از غشای پلی‌وینیل دی‌ان‌فلوراید (PVDF)[1] پرداختند. بدین‌منظور از غشای خالص PVDF در جداسازی اسیدهای چرب آزاد و فسفولیپیدها استفاده شد.

Sotoft و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از ۶ مرحله غشایی به جداسازی ترکیباتی همچون پروتئین‌ها، اسیدآمینه، نمک و استیک اسید از آب‌نمک اسیدی مورداستفاده در فرایند شورکردن شاه ماهی[2] پرداختند. در طی این بررسی از غشای میکروفیلتر تجاری (۰/۲ میکرومتر) و ۴ غشای الترافیلتر (۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱ کیلودالتون) استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که تأثیرگذارترین مراحل در جداسازی، غشای ۵۰

[1] Polyvinylidene fluoride
[2] Herring Fish

کیلودالتون بوده است.

باتوجه‌به موارد ذکرشده و به‌دلیل اهمیت فرایندهای غشایی در صنایع غذایی و به‌ویژه صنایع روغن خوراکی، در این تحقیق از یک غشای پلیمری که توسط خود محققین ساخته‌شده است در تغلیظ اسیدهای چرب امگا-۳ استفاده شده است. ساختار غشای متخلخل که به روش جدایش فازی ساخته‌شده به‌وسیلهٔ عکس‌برداری میکروسکوپ الکترونی موردارزیابی قرار گرفت. همچنین از روغن ماهی تجاری برای ارزیابی فرایند تغلیظ توسط غشای پلیمری استفاده شده است. نتایج تغلیظ به‌طور دقیق موردارزیابی قرارگرفته و اثرات گرفتگی غشاء به‌واسطهٔ عبور روغن ماهی از غشاء بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

روغن ماهی و تعیین ترکیب اسیدهای چرب

روغن ماهی تجاری (فانوس ماهی) از شرکت فرآوری ماهی قشم تهیه شد. به‌منظور تعیین ترکیب و بازده کلی تغلیظ، نمونه‌ها قبل از تزریق به دستگاه، به روش Metcalfe و همکاران (۱۹۶۶) و با افزودن استاندارد داخلی (C15:0) مشتق‌سازی شدند. دستگاه کروماتوگراف مورداستفاده در این تحقیق (Unicam 4600، ساخت انگلستان) با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID)[1] و ستون BPX70 بوده و طول ستون ۳۰ متر، قطر داخلی ستون ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فاز ساکن ۰/۲۲ میکرومتر بود. گاز هلیم با خلوص ۹۹/۹۹ درصد به‌عنوان گاز حامل با فشار ۲۰ پوند بر اینچ مربع مورداستفاده قرار گرفت. دمای محل تزریق و آشکارساز به‌ترتیب ۲۵۰ و ۳۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد بود. جداسازی با برنامه‌ریزی دمای ستون اتجام شد. دمای اولیه ۱۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه، سپس با نرخ ۲ درجه بر دقیقه به دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد رسیده و به مدت ۳۵ دقیقه باقی‌ماند. غلظت هر اسید چرب به‌صورت گرم در ۱۰۰ گرم روغن محاسبه شد.

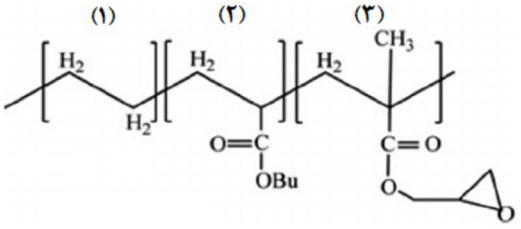
[1] Flame Ionization Detector

پلیمر ELVALOY®4170

پلیمر اتیلن تریپلیمر واکنشی[2] (RET) که با نام تجاری ELVALOY®4170 شناخته می‌شود با چگالی ۰/۹۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب از شرکت DuPont تهیه شد. خواص و ساختار شیمیایی این پلیمر به‌ترتیب در جدول (۱) و شکل (۱) نشان داده شده است (Ranjbaran *et al*., 2015).

جدول ۱ - خواص شیمیایی ELVALOY®4170

خاصیت	مقدار
حلالیت در آب	ناچیز
چگالی	۰/۹۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب
دمای ذوب	۷۲ درجهٔ سانتی‌گراد
دمای تبخیر	۴۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد



شکل ۱ - ساختار شیمیایی ELVALOY®4170 متشکل از گروه‌های (۱) پلی‌اتیلن، (۲) متیل‌متا اکریلات و (۳) اپوکسید

ساخت غشاهای پلیمری ELVALOY®4170

برای تهیهٔ غشاء، ابتدا مقدار مشخصی از پلیمر ELVALOY به مدت ۲ ساعت و در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد تحت فرایند پیش‌گرمایش در آون خلأ قرار گرفت تا رطوبت احتمالی آن از بین برود. سپس پلیمر بر مبنای ۱۵ درصد وزنی به حلال تولوئن و در ۳ بازهٔ ۱ ساعته اضافه شد. مواد موردنظر به مدت ۱۲ ساعت و در دمای اتاق مخلوط شدند تا درنهایت یک محلول همگن به‌دست آمد. پس از آن محلول حاصله به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق و به حالت سکون نگاه داشته شد تا از خروج حباب‌هایی که درحین فرایند هم‌زدن تشکیل‌شده بود اطمینان حاصل گردد. محلول همگن نهایی با استفاده از تیغه و به ضخامت ۳۰۰ میکرومتر

[2] Reactive Ethylene Terpolymer (RET)

روی سطح شیشه‌ای صاف ریخته‌گری شد. لایهٔ ریخته‌گری‌شده به مدت ۲ دقیقه و در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد در داخل آون خلأ قرار گرفت تا با تبخیر سطحی حلال لایهٔ چگال نازک در بالای غشاء تشکیل شود (مرحلهٔ خشک). سپس لایهٔ ریخته‌گری‌شده روی شیشه در داخل حمام آب یون‌زدایی‌شده قرار گرفت تا فرایند جدایش فازی که منتج به تشکیل یک لایه متخلخل ضخیم در زیر لایهٔ چگال می‌شود، انجام گیرد (مرحلهٔ مرطوب). پس از جدایش فازی اولیه، غشاء شکل‌گرفته به داخل حمام جدید با شرایط مشابه و به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت تا جدایش فازی به‌طور کامل انجام گیرد. درنهایت غشاء شکل‌گرفته در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون قرار گرفت تا غشاء خشک به‌دست آید.

میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] (SEM)

جهت مشاهدهٔ ساختار سطح مقطع غشاء از روش عکس‌برداری SEM با دستگاه CamScan SEM (مدل MV2300، ساخت آمریکا) استفاده شد. نمونه‌ای از غشاء ابتدا به مدت کوتاهی در نیتروژن مایع فروبرده شد. پس از ۳ ثانیه نمونه تردشده به‌طوری‌که با یک اشاره و کمترین تنش ممکنه از مقطع عرضی برش خوردند. سپس نمونهٔ برش‌خورده روی پایه‌های استوانه‌ای قرارگرفته و پوشش‌دهی طلا روی آنها انجام گرفت و برای عکس‌برداری آماده شد.

آزمون تراوایی و تغلیظ

سامانهٔ تراوایی ناپیوسته متشکل از یک مخزن روغن و یک غشاء صفحهٔ تخت (با سطح مؤثر ۱۸×۱۰^{-۴} مترمربع) برای بررسی عملکرد غشاهای مختلف در تغلیظ امگا-۳ به‌کارگرفته شد. تمامی آزمون‌های تراوایی در اتمسفر نیتروژن و فشار خوراک موجود در سامانه ازطریق مخزن ازت تأمین شد. سامانهٔ موردنظر روی همزن مغناطیسی قرار گرفته و همچنین هریک از آزمون‌های تراوایی در دمای مشخصی انجام گرفت.

[1] Scanning Electron Microscopy

برای هر آزمایش، مخزن روغن از ۳۰ گرم روغن ماهی پرشده و تا زمان جمع‌آوری مقدار قابل‌قبولی از روغن عبوری از غشاء ادامه می‌یافت. مقدار شار روغن عبوری از رابطهٔ (۱) به‌دست می‌آید:

رابطهٔ (۱)

$$J_o = Q_o/A\Delta t$$

در رابطهٔ (۱)، Q_o مقدار روغن عبورکرده (L)، A مساحت غشاء (مترمربع) و Δt نیز زمان آزمون تراوایی می‌باشد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

به‌منظور بررسی عامل‌های مختلف بر مقدار تغلیظ امگا-۳، ارزیابی آماری مورداستفاده قرار گرفت. دما، فشار و شدت هم‌زدن به‌عنوان عامل‌های مؤثر بر فرایند تغلیظ انتخاب شدند. هریک از عوامل در ۳ سطح درنظرگرفته شد و روش Box-Behnken با ۳ عامل و هریک در ۳ سطح با استفاده از بستهٔ نرم‌افزاری Design Expert نسخهٔ ۸ مورداستفاده قرار گرفت. تعداد آزمایش‌ها در این روش از رابطهٔ (۲) به‌دست می‌آید:

رابطهٔ (۲)

$$N = 2k(k-1) + C_0$$

در رابطهٔ (۲)، k تعداد عوامل و C_o تعداد نقاط مرکزی است. عوامل مؤثر که دما، فشار و شدت هم‌زدن هستند به ترتیب با A، B و C نشان‌داده می‌شوند. مقدار کمینه، متوسط و بیشینهٔ هریک از عوامل نیز به‌ترتیب با اعداد ۱-، صفر و ۱ طبق جدول (۲) معین می‌شوند.

جدول ۲ - عوامل تأثیرگذار بر فرایند تغلیظ و سطوح هریک از آنها

دما (درجه سانتی گراد)، A	فشار (بار)، B	نرخ همزن (دور بر دقیقه)، C
۳۰ (-۱)	۳ (-۱)	۰ (-۱)
۴۰ (۰)	۴ (۰)	۱۰۰ (۰)
۵۰ (۱)	۵ (۱)	۲۰۰ (۱)

نتایج و بحث

نتایج تعیین ترکیب روغن فانوس ماهی

بررسی ترکیب روغن فانوس ماهی توسط دستگاه کروماتوگراف گازی مشخص شد که بیانگر طیف گسترده‌ای از اسیدهای چرب در روغن فانوس بوده است. در جدول (۳) ترکیب کلی اسیدهای چرب ملاحظه می‌شود. همان‌طورکه نتایج کروماتوگرافی نشان می‌دهد روغن موردنظر حاوی ۳۲/۶۵ درصد اسید چرب غیراشباع است که از این مقدار ۲۵/۲۳ درصد مربوط به اسیدهای چرب امگا-۳ می‌باشد.

جدول ۳- ترکیب اسیدهای چرب روغن خام فانوس ماهی

اسید چرب	درصد (w/w)
مجموع اسیدهای چرب اشباع (∑SFA)	۳۸/۴۵ ±۱/۱۵
مجموع اسیدهای چرب تک غیراشباعی (∑MUFA)	۲۴/۲۳ ±۱/۰۳
مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ (∑ω3)	۲۵/۲۳ ±۱/۱۰
مجموع اسیدهای چرب امگا-۶ (∑ω6)	۵/۴۱ ±۰/۲۴
مجموع سایر اسیدهای چرب چندغیراشباعی (∑Other PUFA)	۲/۰۱ ±۰/۱۲
کل اسیدهای چرب چندغیراشباعی (∑PUFA)	۳۲/۶۵ ±۲/۴۱

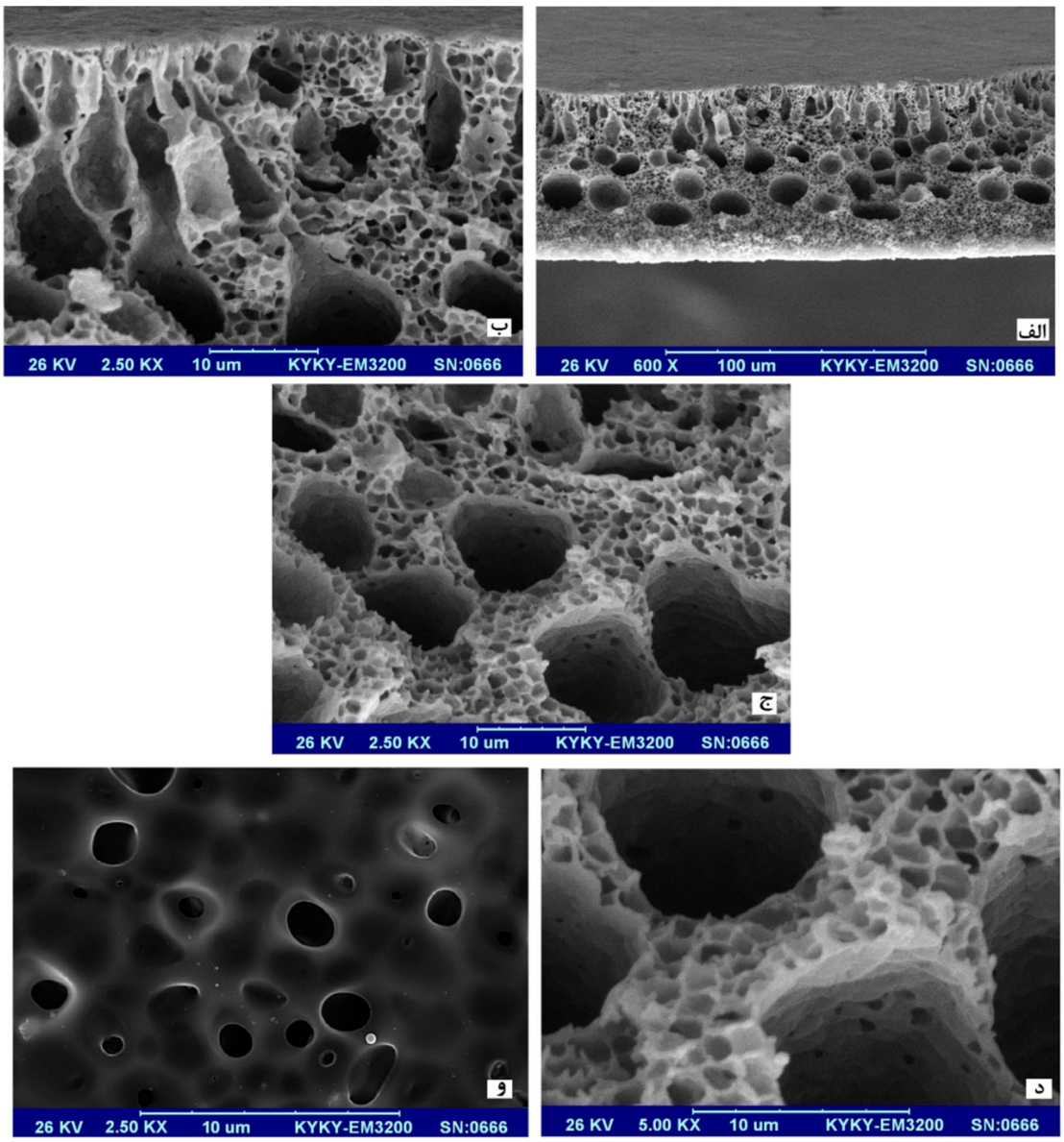
بررسی ساختار غشای پلیمری

مطالعهٔ کیفی سطح مقطع غشاء ELVALOY با استفاده از SEM انجام شد. شکل (۲) نشان‌دهندهٔ ساختار نامتقارن غشاء پلیمری می‌باشد. غشاء پلیمری متشکل از یک‌لایه چگال نازک در قسمت بالایی به همراه یک زیرلایهٔ متخلخل ضخیم شامل حفره‌های بزرگ است. پس از غوطه‌وری لایهٔ ریخته‌گری‌شده در حمام آب، فرایند ترسیب[1] لایهٔ ریخته‌گری آغاز می‌شود که به‌دلیل امتزاج ناپذیری[2] بین پلیمر و ضدحلال آب می‌باشد. درنتیجه حرکت نفوذی حلال تولوئن و ضدحلال آب منجربه جابجایی حلال/ضدحلال در نقاط بسیاری از لایهٔ ریخته‌گری می‌شود (Abedini *et al*., 2011).

در حقیقت نفوذ آب به داخل لایهٔ پلیمری ریخته‌گری‌شده باعث دافعهٔ بین زنجیره‌های پلیمری و آب به‌دلیل عدم سازگاری و هسته‌زایی[3] پلیمر می‌شود که کنترل‌کنندهٔ ساختار امتزاج‌پذیری زنجیره‌ها با آب شده و منجربه ادامهٔ نهایی غشاء می‌باشد. فرایند هسته‌زایی تا زمانی ادامه می‌یابد که غلظت پلیمر در آن نقطه بسیار زیاد شده و درنتیجه فرایند انجماد[4] اتفاق می‌افتد (Abedini *et al*., 2012; Saljoughi *et al*., 2009).

طبق شکل (۲)، غشاء ساخته‌شده از ضخامت کلی کمتر از ۱۰۰ میکرومتر برخوردار می‌باشد. همچنین شکل (۲) نصاویری از لایه‌های مختلف غشاء با بزرگنمایی‌های بیشتر به تصویر می‌کشد. غشاء حاصله از ساختاری کاملاً متخلخل برخوردار است که شدت تخلخل و اندازهٔ حفره‌ها از بالا به سمت پایین افزایش می‌یابد. شکل (۲-و) تصویری از سطح غشاء پلیمری نشان می‌دهد. همان طورکه پیداست سطح غشاء از ساختاری متخلخل با حفره‌های دایره‌ای برخوردار بوده که ناشی از فرایند جدایش فازی است.

[1] Precipitation
[2] Immiscibility
[3] Nucleation
[4] Solidification



شکل ۲- تصاویر SEM از غشاء پلیمری، (الف) مقطع عرضی کامل؛ (ب) قسمت فوقانی غشاء با حفره‌های ریز؛ (ج) و (د) قسمت تحتانی غشاء با ساختار متخلخل و حفره‌های درشت‌تر؛ (و) سطح غشاء

تحلیل نتایج حاصل از فرایند تغلیظ

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

مقادیر غلظت امگا-۳ در هریک از تیمارها به همراه شرایط عملیاتی مربوطه در جدول (۴) نشان داده شده است. از جدول آنالیز واریانس[1] برای ارزیابی نتایج حاصله استفاده شد که در جدول (۵) آورده شده است. باتوجه‌به نتایج حاصله از جدول (۵)، هریک از عواملی که مقدار P مختص به آن کمتر از (۰/۰۵) باشد، از تأثیر معنی‌داری بر مقادیر تغلیظ امگا-۳ برخوردارند.

در این میان، دما با دارابودن حداقل مقدار P و حداکثر مقدار F از بیشترین تأثیر نسبت به دو عامل دیگر یعنی فشار و سرعت همزن، بر فرایند تغلیظ برخوردار است. مدل همبستگی[2] شامل کلیهٔ عوامل مؤثر بر تغلیظ اعم از عوامل اصلی، اثرات دوگانه و مربعات، به‌صورت رابطهٔ (۳) بوده که برحسب مقادیر کدشده عوامل نشان داده شده است:

رابطهٔ (۳)

$$\text{امگا-۳} = ۰/۵۳C^۲ - ۰/۸۴B^۲ - ۱/۷۶A^۲ - ۰/۷۸BC - ۰/۷۶AB + ۰/۴۶C - ۰/۸۷B + ۱/۵۳A + ۳۶/۶۶$$

[1] Analysis of Variance (ANOVA)

[2] Regression

جدول ۴- مقادیر غلظت امگا-۳ در هریک از تیمارهای طراحی‌شده از روش Box-Behnken

شماره	تیمار	عامل A: دما		عامل B: فشار		عامل C: شدت همزن		درصد امگا-۳
		کدی	حقیقی	کدی	حقیقی	کدی	حقیقی	
۱	۱۴	-۱	۳۰	-۱	۳	۰	۱۰۰	۳۲/۴۵
۲	۱۳	۱	۵۰	-۱	۳	۰	۱۰۰	۳۴/۱۵
۳	۱۲	-۱	۳۰	۱	۵	۰	۱۰۰	۳۲/۴۵
۴	۶	۱	۵۰	۱	۵	۰	۱۰۰	۳۷/۱۹
۵	۵	-۱	۳۰	۰	۴	-۱	۰	۳۳/۲۷
۶	۸	۱	۵۰	۰	۴	-۱	۰	۳۶/۷۸
۷	۱۱	-۱	۳۰	۰	۴	۱	۲۰۰	۳۲/۵۵
۸	۳	۱	۵۰	۰	۴	۱	۲۰۰	۳۴/۸۶
۹	۹	۰	۴۰	-۱	۳	-۱	۰	۳۳/۷۹
۱۰	۱	۰	۴۰	۱	۵	-۱	۰	۳۷/۳۲
۱۱	۲	۰	۴۰	-۱	۳	۱	۲۰۰	۳۴/۸۱
۱۲	۴	۰	۴۰	۱	۵	۱	۲۰۰	۳۵/۲۴
۱۳	۷	۰	۴۰	۰	۴	۰	۱۰۰	۳۶/۶۱
۱۴	۱۰	۰	۴۰	۰	۴	۰	۱۰۰	۳۶/۸۴
۱۵	۱۵	۰	۴۰	۰	۴	۰	۱۰۰	۳۶/۵۴

جدول ۵- آنالیز واریانس برای هریک از عوامل مؤثر در فرایند تغلیظ به همراه اثرات متقابل آنها

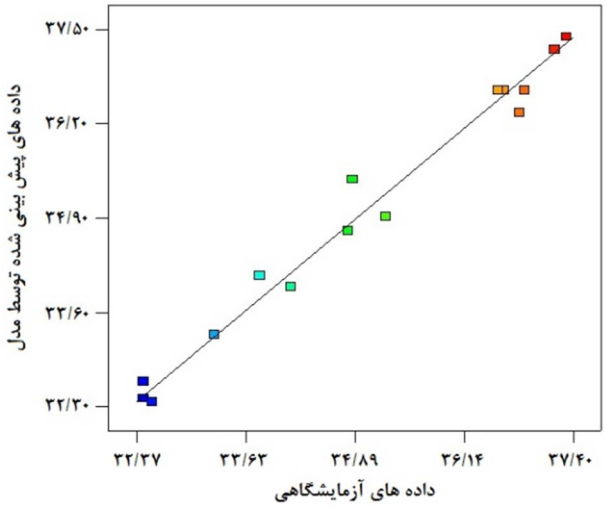
	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	متوسط مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۴۵/۱۲	۸	۵/۶۴	۳۸/۶۷	۰/۰۰۰۱
دما (A)	۱۸/۷۹	۱	۱۸/۷۹	۱۲۸/۸۱	<۰/۰۰۰۱
فشار (B)	۶/۱۲	۱	۶/۱۲	۴۱/۹۹	۰/۰۰۰۶
شدت همزن (C)	۱/۷۱	۱	۱/۷۱	۱۱/۷۳	۰/۰۱۴۱
AB	۲/۳۱	۱	۲/۳۱	۱۵/۸۴	۰/۰۰۷۳
BC	۲/۴۰	۱	۲/۴۰	۱۶/۴۷	۰/۰۰۶۷
A^2	۱۱/۴۹	۱	۱۱/۴۹	۷۸/۷۸	۰/۰۰۰۱
B^2	۲/۶۰	۱	۲/۶۰	۱۷/۸۳	۰/۰۰۵۵
C^2	۱/۰۵	۱	۱/۰۵	۷/۲۲	۰/۰۳۶۲
Residual	۰/۸۸	۶	۰/۱۵		
Lack of Fit	۰/۸۳	۴	۰/۲۱	۸/۳۸	۰/۱۰۹۴
Pure Error	۰/۰۴۹	۲	۰/۰۲۵		

R-Squared =۰/۹۸۹۰، Adj R-Squared =۰/۹۵۵۶، Adeq Precision =۱۷/۰۱۱

شکل (۳) مقایسه‌ای بین مقادیر آزمایشگاهی و داده‌های به‌دست‌آمده از مدل آماری برای مقادیر امگا-۳ نشان می‌دهد. طبق نتایج شکل (۳)، مدل به‌دست‌آمده از کارایی مناسبی در تخمین داده‌های تغلیظ برخوردار است. براساس نتایج جدول واریانس، عوامل A، B و C به همراه اثرات متقابل AB و BC از تأثیر معنی‌داری بر مقدار تغلیظ امگا-۳ برخوردار هستند که در مدل ارائه‌شده نیز وجود دارند. عبارات R^2 تنظیم‌شده و R^2 پیش‌بینی‌شده و اختلاف این دو، اعتبار مدل ارائه‌شده را تعیین می‌کنند. برای یک مدل مناسب، مقدار هریک از این دو عبارت باید نزدیک به ۱ بوده و اختلاف آنها نیز از ۰/۲ کمتر باشد (Wu *et al.*, 2012). در این مدل، هریک از این دو شاخص از مقداری نزدیک به ۱ برخوردارند و اختلاف آنها نیز برابر ۰/۰۳۳۴ است. عبارت دقت کافی[1] نیز نسبت

[1] Adequate Precision

سیگنال به نوفه را در انجام آزماش‌ها نشان می‌دهد و درصورتی قابل‌قبول است که مقدار آن از ۴ بیشتر باشد (Wu *et al.*, 2012). در این مدل شاخص سیگنال به نوفه از مقدار بسیار خوبی برابر با ۱۷/۰۱۱ برخوردار است.



شکل ۳- مقادیر آزمایشگاهی درصد وزنی امگا-۳ در نمونهٔ تغلیظ‌شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده به‌وسیلهٔ مدل آماری

اثر دما بر تغلیظ امگا-۳

شکل (۴) تأثیر دما را بر تغلیظ امگا-۳ در فشار ۴ بار و سرعت همزن ۱۰۰ دور در دقیقه نشان می‌دهد. غلظت امگا-۳ در دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد برابر با ۳۳/۴۵ درصد وزنی بوده است که با افزایش دما به ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مقدار ۳۶/۶۴ درصد وزنی رسید. افزایش دما به بیش از ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد منجربه‌کاهش غلظت امگا-۳ شده به‌طوری‌که در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد مقدار آن به ۳۶/۲۷ درصد وزنی کاهش یافت. دمای ذوب روغن فانوس ماهی ازطریق روش لولهٔ موئینه اندازه‌گیری شد که برابر با ۱۲/۵۸ درجهٔ سانتی‌گراد بوده است. در دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد که نزدیک‌ترین دما به دمای ذوب روغن است، مقداری ذرات جامد که به‌طور عمده متشکل از SFA می‌باشند در داخل فاز روغنی معلق هستند. اسیدهای چرب اشباع از دمای ذوب بالاتری نسبت به امگا-۳ برخوردار هستند که به‌دلیل ساختار سیرشدهٔ آنها می‌باشد؛ لذا فاز ناتراوا[1] شامل مقادیر بیشتری از SFA بوده که منجربه‌کاهش غلظت امگا-۳ در فاز ناتراوا می‌شود. افزایش غلظت امگا-۳ به ۳۵/۳۰ درصد وزنی در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌تواند به دو دلیل اصلی زیر باشد:

۱) افزایش دما تا ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد موجب ذوب‌شدن همگن‌تر روغن‌شده که عاری از ذرات جامد معلق می‌باشد.

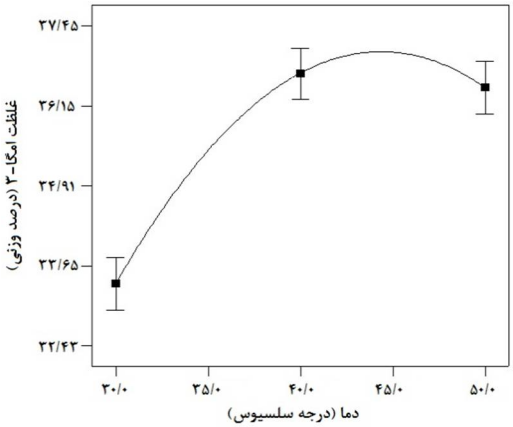
۲) تحرک[2] روغن در دمای بالاتر بیشتر شده، درنتیجه مقدار بیشتری از SFA به‌دلیل ساختار خطی[3] از غشاء عبور می‌کند و درنهایت امگا-۳ با غلظت بیشتری در فاز ناتراوا استحصال می‌شود.

باتوجه‌به شکل (۴)، غلظت امگا-۳ در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد تا حدی نزدیک به دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. مقدار کاهش اندک ایجادشده در غلظت امگا-۳ در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌تواند به اکسایش نسبی آن و به‌دلیل حساسیت به کمبود اکسیژن در دماهای بالاتر مربوط باشد (Rupasinghe *et al.*, 2010). اکسایش زمانی اتفاق می‌افتد که ترکیبات سیرنشده نظیر امگا-۳ در معرض حرارت، نور و اکسیژن قرار گیرند. افزایش درجهٔ غیراشباعیت (تعداد پیوندهای دوگانه بیشتر)، شرایط مناسب‌تری را

[1] Rejection

[2] Mobility
[3] Linear structure

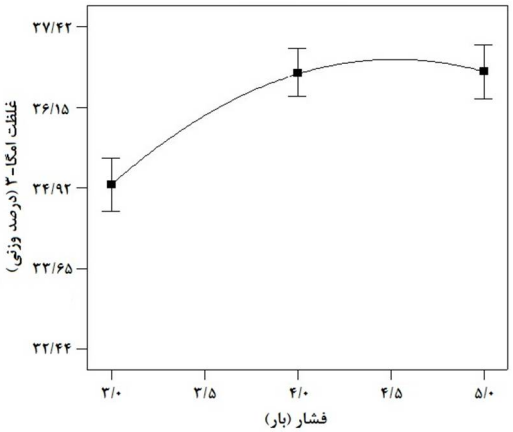
برای اکسایش روغن فراهم می‌آورد (Ruxton *et al*., 2005; Shahidi, 2005). به‌منظور حصول اطمینان از چنین پدیده‌ای، عدد پراکسید[1] فاز ناتراوا در دمای ۴۰ و ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد که عدد پراکسید از ۳/۵۷ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰۰ گرم میلی‌اکی‌والان در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد به ۳/۸۳ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰۰ گرم و در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافت. درنتیجه افزایش عدد پراکسید نشان‌دهندهٔ تبدیل اسیدهای چرب غیراشباع بخصوص امگا-۳ به ترکیبات هیدروپراکسیدی[2] می‌باشد.



شکل ۴- اثر دما بر درصد تغلیظ امگا-۳ در فشار و سرعت هم‌زدن

اثر فشار بر غلظت امگا-۳

شکل (۵) تأثیر فشار بر تغلیظ امگا-۳ را نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل‌شده، افزایش فشار از ۳ تا ۴ بار موجب بهبود تغلیظ امگا-۳ شده است به‌طوری‌که از مقدار ۳۴/۹۵ درصد در فشار ۳ بار به ۳۶/۶۴ درصد در فشار ۴ بار افزایش یافت. در مقابل، با افزایش فشار از ۴ به ۵ بار، تغییرات غلظت از روندی صعودی و سپس نزولی برخوردار بود به‌طوری‌که در ابتدا به مقدار ۳۶/۸۷ درصد ارتقایافته و سپس کاهش و به ۳۶/۴۷ درصد رسید. ازآنجایی‌که غشاء پلیمری ELVALOY از ساختاری متخلخل برخوردار است، لذا جداسازی براساس اندازهٔ اجزاء تشکیل‌دهنده مهم‌ترین مشخصهٔ عملکردی این غشاء محسوب می‌شود. ازآنجایی‌که در فرایند اولترافیلتراسیون غشایی، اختلاف فشار در دو سمت غشاء نیروی محرکهٔ اصلی جداسازی را مهیا می‌کند، درنتیجه رفتار جداسازی غشاء مرتبط با دو عامل نیروی محرکهٔ فشاری و اندازهٔ مولکولی اجزاء تشکیل‌دهندهٔ روغن می‌باشد.

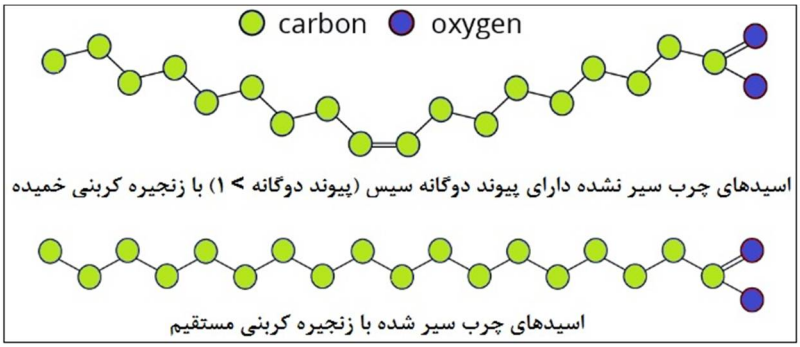


شکل ۵- اثر فشار بر درصد تغلیظ امگا-۳ در دما و سرعت هم‌زدن ثابت

درصد وزنی امگا-۳ موجود در خوراک روغن برابر با ۲۵/۲۳ درصد است و قسمت عمدهٔ آن متشکل از دو اسید چرب EPA و DHA می‌باشد که به‌ترتیب دارای ۵ و ۶ پیوند سیس دوگانه کربن ـ کربن در داخل زنجیرهٔ هیدروکربنی خود می باشند. حضور پیوندهای سیس دوگانه C=C موجب پیچش در ساختار زنجیرهٔ کربنی EPA و DHA می‌شود. به‌دلیل اینکه زنجیرهٔ آسیل[3] نمی‌تواند به‌طور مستقیم در طول همدیگر قرار گیرند، لذا به‌خوبی به همدیگر متصل نمی‌شوند (Yesudhason *et al*., 2009; Gamez-Meza *et al*., 2003). درنتیجه، مجموع انرژی حاصل از نیروی برهم‌کنش مولکولی واندروالس کاهش‌یافته و موجب ۳۰ تا ۴۰ درجه پیچش در ساختار این ترکیبات شده که ممانعت فضایی را به همراه دارد. این پیچش یا اعوجاج در ساختار EPA و DHA به شدت به تعداد پیوندهای دوگانه C=C در ساختار آنها بستگی دارد. با افزایش تعداد پیوندهای سیس دوگانه در زنجیرهٔ

[1] Peroxide value
[2] Hydroperoxide
[3] Acyl

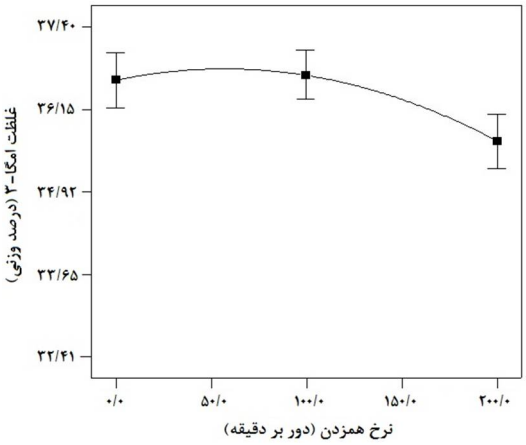
کربنی، پیچش موجود در زنجیره افزایش‌یافته و به دنبال آن بر شدت ممانعت فضایی نیز افزوده می‌شود (Rodriguez *et al.*, 2010). برخلاف امگا-۳، سایر ترکیبات و به‌ویژه SFAها دارای ساختار خطی در زنجیرهٔ کربنی خود می‌باشند. شکل (۶) نمایی از تفاوت بین ساختار زنجیرهٔ کربنی ترکیبات سیرشده و سیرنشده را به تصویر می‌کشد. درنتیجه، به‌دلیل اینکه غشاء ELVALOY ترکیبات و اجزاء موجود در روغن را براساس اندازهٔ مولکولی جداسازی می‌کند، واضح است که SFA به مقدار بیشتری نسبت به امگا-۳ از غشاء عبور می‌کند. افزایش فشار روغن از ۳ تا ۴ بار در سمت خوراک، موجب ایجاد شرایطی می‌شود که عبور SFA نسبت به امگا-۳ پیشی گرفته و غلظت امگا-۳ در پشت غشاء افزایش یابد. اگرچه اختلاف فشار در دو سمت غشاء با ایفانمودن نقش نیروی محرکه مناسب هم‌زمان باعث ردشدن ترکیبات با ساختار خطی مانند SFAها شده و موجب پس‌زدن ترکیبات سیرنشده نظیر EPA و DHA می‌شود، اما افزایش بیشتر فشار خوراک بر ممانعت فضایی امگا-۳ که عاملی بر عبورنشدن این ترکیب از غشاء بوده، غلبه‌کرده و موجب عبور بیشتر این ترکیبات در فشارهای بالاتر می‌شود که افزایش تراوایی امگا-۳ را نیز به همراه دارد، لذا این افزایش فشار که منجربه غلبه بر ممانعت فضایی موجود در ساختار EPA و DHA شده درنهایت کاهش غلظت امگا-۳ در پشت غشاء می‌شود.



شکل ۶- ساختار مولکولی اسیدهای چرب سیرنشده و سیرشده

اثر سرعت هم‌زدن بر غلظت امگا-۳

شکل (۷) تغییرات غلظت امگا-۳ را برحسب سرعت هم‌زدن در دما و فشار ثابت ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و فشار ۴ بار نشان می‌دهد. غلظت امگا-۳ در شرایط بدون هم‌زدن ۳۶/۴۱ درصد بوده است که در حالت سرعت همزن برابر با ۱۰۰ دور در دقیقه بهبودیافته و به ۳۶/۶۴ درصد افزایش یافت. با افزایش شدت هم‌زدن به ۲۰۰ دور در دقیقه، غلظت امگا-۳ کاهش‌یافته و به مقدار ۳۵/۷۴ درصد می‌رسد. باید به این نکته توجه داشت که اگرچه نرخ هم‌زدن طبق تجزیهٔ ANOVA جزء عامل‌های معنی‌دار می‌باشد، اما اثر آن بر فرایند تغلیظ نسبت به دما و فشار کمتر می‌باشد. یکی از عواملی که بر جداسازی فرایندهای غشایی از تأثیر قابل‌توجهی برخوردار است گرفتگی سطحی غشاء است. تغییرات غلظت امگا-۳ برحسب نرخ هم‌زدن را نیز می‌توان به شرایط گرفتگی[1] در سطح غشاء مربوط دانست.



شکل ۷ - اثر سرعت همزن بر درصد تغلیظ امگا-۳ در فشار و دمای ثابت

[1] Fouling

به‌منظور محاسبهٔ گرفتگی ایجادشده به‌واسطهٔ عبور روغن از غشاء، شار آب‌خالص عبوری (J_w) از غشاء طبق رابطهٔ (۳) محاسبه‌شده و با برابر قراردادن آن با رابطهٔ (۴) مقاومت ذاتی غشاء محاسبه می‌شود (Nourbakhsh *et al*., 2014).

رابطهٔ (۳)

$$J_w = Q/A\Delta t$$

رابطهٔ (۴)

$$J_w = \frac{\Delta P}{\mu_w R_m}$$

در رابطهٔ (۳) و (۴)، J_w شار آب عبوری (لیتر بر مترمربع در ساعت)، Q مقدار آب عبورکرده (لیتر)، A سطح مؤثر غشاء (مترمربع)، Δt زمان عبور آب (ساعت)، ΔP اختلاف فشار دوطرف غشاء (پاسکال)، μ_w لزجت آب (پاسکال ثانیه) و R_m مقاومت ذاتی غشاء است.

پس از محاسبهٔ شار آب عبوری از غشاء، فرایند تغلیظ در شرایط نرخ همزن برابر با صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ دور در دقیقه انجام شد. پس از آن غشاهای مورداستفاده در فرایند تغلیظ با محلول سود ۰/۲ نرمال به‌طور کامل شست‌وشو داده شدند. پس از اطمینان از تمیزشدن مناسب سطح غشاها، مجدداً شار آب‌خالص عبوری از غشاها اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه‌های (۵) و (۶) مقاومت گرفتگی و درصد گرفتگی محاسبه شد :

رابطهٔ (۵)

$$R^* = R_m + R_f$$

رابطهٔ (۶)

$$F = \frac{J_w - J_w^*}{J_w}$$

در رابطه‌های (۵) و (۶)، R_f و R' به‌ترتیب مقاومت گرفتگی و مقاومت غشای تمیزشده می‌باشند. J'_w شار آب عبوری از غشای تمیزشده و درصد F برابر با درصد گرفتگی می‌باشد.

طبق داده‌های جدول (۶)، شار غشاها پس از تمیزکردن مجدد تابع قوی از فرایند تغلیظ روغن بوده است. ازآنجایی‌که عوامل فشار و دما در این ۳ آزمایش یکسان بوده است، لذا اثرگذاری شدت هم‌زدن بیشتر محسوس است. غشایی که در فرایند تغلیظ با شدت هم‌زدن ۱۰۰ دور در دقیقه عمل‌کرده است پس از تمیزکردن سطح آن، مقدار شار آب بیشتری در مقایسه با غشاهایی که در حالت بدون فرایند هم‌زدن و هم‌زدن با نرخ ۲۰۰ دور در دقیقه عمل کرده‌اند، نشان داده است. این پدیده می‌تواند به اثرات گرفتگی غشاء مربوط می‌باشد (Nourbakhsh *et al*., 2014). همان‌طورکه در جدول (۶) نشان داده شده است، مقاومت گرفتگی به همراه درصد گرفتگی در نرخ همزن ۱۰۰ دور در دقیقه از مقادیر مشابه در حالت‌های بدون همزن و ۲۰۰ دور در دقیقه کمتر است. لذا می‌توان نتیجه‌گرفت که تغلیظ امگا-۳ در حالت نرخ همزن برابر با ۱۰۰ دور در دقیقه بهتر از دو حالت دیگر است. نرخ همزن ۱۰۰ دور در دقیقه در مقابل حالتی که نرخ همزن برابر صفر است، موجب حذف یا کاهش شدت تجمع ترکیبات روغنی بر سطح غشاء که کاهش تغلیظ را موجب می‌شوند، می‌گردد. درنتیجه در حالت نرخ همزن ۱۰۰ دور در دقیقه مقدار R_f و درصد F به‌ترتیب به مقادیر $۱/۱\times۱۰^{۷}$ یک بر متر و ۱۵/۳ کاهش یافته‌اند.

ازطرف‌دیگر مقادیر R_f متفاوت در غشاها می‌تواند به نوع گرفتگی ایجادشده در سطح غشاها نیز بستگی داشته باشد. رابطهٔ (۷) به‌منظور مقایسهٔ سازوکارهای گرفتگی ایجادشده در سطح غشاها مورداستفاده قرار می‌گیرد (Field *et al*., 2011).

رابطهٔ (۷)

$$-\frac{dJ}{dt} = k_n(J - J^*)^{2-n}$$

در رابطهٔ (۷)، J^* شار آب پایای نهایی و k_n ضریب است. بسته به n به‌دست‌آمده ۴ نوع سازوکار اصلی در ایجاد گرفتگی تأثیرگذارند که عبارتند از تشکیل لایهٔ کیک، انسداد حد واسط حفره‌ها، انسداد داخل حفره‌ها و انسداد کامل حفره‌ها.

جدول ۶ - مقادیر مقاومت گرفتگی و درصد گرفتگی غشای پلیمری در سرعت همزن‌های متفاوت

شدت هم‌زدن	J_w	J'_w	R_f	درصد F
صفر	۲۴/۲	۱۷/۶	$۱/۶\times۱۰^{۷}$	۲۷/۲
۱۰۰ دور در دقیقه	۲۴/۲	۲۰/۵	$۱/۱\times۱۰^{۷}$	۱۵/۳
۲۰۰ دور در دقیقه	۲۴/۲	۱۵/۷	$۱/۹\times۱۰^{۷}$	۳۵/۱

شرایط آزمون تراوایی (T= ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ΔP= ۴ بار)

جدول (۷) مقادیر جذر میانگین تفاوت مربعات[1] (RMSD) بین داده‌های محاسبه‌شده و آزمایشگاهی را برای هریک از سازوکارهای گرفتگی موردنظر نشان می‌دهد. نتایج حاصل حاکی از آن است که سازوکار غالب در هریک از غشاها متفاوت است. باتوجه‌با نتایج گزارش‌شده در جدول (۷)، درحالتی‌که نرخ هم‌زدن صفر است سازوکار انسداد کامل حفره‌ها از بیشترین تأثیر و در حالت نرخ هم‌زدن برابر با ۱۰۰ دور در دقیقه انسداد حد واسط حفره‌ها سازوکار غالب بوده است. در حالت نرخ هم‌زدن ۲۰۰ دور در دقیقه نیز انسداد کامل حفره‌ها سازوکار غالب گرفتگی بوده است با این تفاوت که مشخصهٔ قابل‌توجه این حالت تشکیل لایهٔ کیک است که از اثر بیشتری نسبت به دو حالت نرخ هم‌زدن دیگر برخوردار است.

جدول ۷ - جذر میانگین تفاوت مربعات بین داده‌های آزمایشگاهی شار و داده‌های حاصل از مدل فیلد

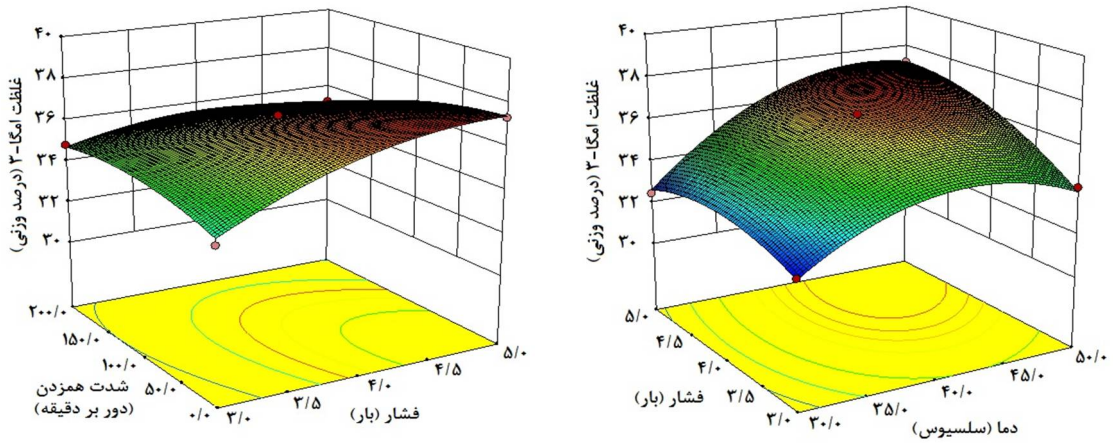
نرخ هم‌زدن (دور در دقیقه)	سازوکار گرفتگی			
	لایهٔ کیک (n=۰)	انسداد حد واسط حفره‌ها (n=۱)	انسداد داخل حفره‌ها (n=۱/۵)	انسداد کامل حفره‌ها (n=۲)
۰	۱/۸۷	۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۲۱
۱۰۰	۲/۳۸	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۵۶
۲۰۰	۱/۲۶	۰/۶۸	۰/۸۵	۰/۱۴

اثر عوامل دوگانه بر غلظت امگا-۳

نمودارهای سطح پاسخ مربوط به غلظت امگا-۳ که از مدل غیرخطی ارائه‌شده به‌دست آمده‌اند، در شکل (۸) نشان داده شده است. نمودار سطح پاسخ به همراه نمودار کانتور[2] نشان‌دهندهٔ رابطهٔ بین غلظت امگا-۳ و سطوح هریک از عوامل آزمایشگاهی تأثیرگذار می‌باشد.

شکل (۷) همچنین تأثیر هر ۳ عامل آزمایشگاهی را بر تغییرات غلظت امگا-۳ نشان می‌دهد و همان‌طورکه پیداست، هریک از نمودارهای سطح پاسخ از حالت مقعر برخوردار می‌باشند که به‌دلیل جمله‌های درجه‌دو موجود در مدل ارائه‌شده می‌باشد. همچنین اثرات دوگانه هریک از عوامل در نمایش کانتور مشخص است. به‌طورکلی هرچه نمودار کانتور از حالت بیضوی بیشتری برخوردار باشد می‌توان نتیجه‌گرفت که اثر دوگانه بین دو عامل از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و از نگاه آماری معنی‌دارتر است. باتوجه‌به شکل (۶)، نمایش کانتور بین دو عامل فشار و شدت همزن از حالت بیضوی بیشتری برخوردار می‌باشد که در جدول ANOVA نیز این اثر دوگانه معنی‌دار معرفی‌شده است.

[1] Root Mean Square Diffrence
[2] Contour



شکل ۸ - نمودار سطح پاسخ تغییرات غلظت امگا-۳ برحسب هریک از عوامل دوگانه

نتیجه‌گیری

در این تحقیق غشاء نامتقارن حاصله از اتیلن کوپلیمررزین به کمک جدایش فازی ازطریق ترسیب به روش غوطه‌وری ساخته شد. غشای پلیمری ساخته‌شده از ساختاری کاملاً متخلخل به همراه یک لایه چگال نازک در قسمت بالایی برخوردار بوده است. توانایی غشاء حاصله در تغلیظ اسیدهای بلندزنجیر امگا-۳ موجود در روغن فانوس ماهی موردارزیابی قرار گرفت. در فرایند تغلیظ، اثر ۳ عامل دما، فشار و شدت هم‌زدن هریک در ۳ سطح و به روش طراحی آزمایش Box-Behnken موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. در بین عوامل ذکرشده، دما از بیشترین تأثیر بر تغلیظ امگا-۳ برخوردار بوده است. بیشترین تغلیظ امگا-۳ برابر با ۳۷/۳۲ درصد وزنی بود که در دمای ۴۰ درجهٔ سلسیوس، فشار ۵ بار و شدت هم‌زدن صفر به‌دست آمد. همچنین اثر فرایند تغلیظ بر مقاومت غشاء و درصد گرفتگی نیز موردارزیابی قرار گرفت. کمترین درصد گرفتگی در حالت هم‌زدن ۱۰۰ دور در دقیقه گزارش شد که برابر با ۱۷/۲ درصد بوده است.

منابع

1- Abedini, R., Mousavi, S.M., & Aminzadeh, R. 2012. Effect of sonochemical synthesized TiO_2 nanoparticles and coagulation bath temperature on morphology, thermal stability and pure water flux of asymmetric cellulose acetate nanocomposite membranes prepared *via* phase inversion method. Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly, 18(3):385-398.

2- Abedini, R., Mousavi, S.M., & Aminzadeh, R. 2011. A novel cellulose acetate (CA) membrane using TiO_2 nanoparticles: Preparation, characterization and permeation study. Desalination, 277(1-3):40-45.

3- AOCS. 2009. Animal and vegetable fats and oils–Determination of Oils and Fats, Gas chromatography. No Ce 1h-05.

4- Azmi, R.A., Goh, P.S., Ismail, A.F., Lau, W.J., Ng, B.C., Othman, N.H., Noor, A.M., & Yusoff, M.S.A. 2015. Deacidification of crude palm oil using PVA-crosslinked PVDF Membrane. Journal of Food Enginnering, 166:165-173.

5- Chen, Y.Q., Edwards, I.J., Kridel, S.J., Thornburg, T., & Berquin, I.M. 2007. Dietary fat'gene interaction in cancer. Cancer Metastasis Reviews, 26(3-4):535-551.

6- Field, R.W., & Wu, J.J. 2011. Modelling of permeability loss in membrane filtration: re-examination of fundamental fouling equations and their link to critical flux. Desalination, 283:68-74.

7- Hibino, M., Sumi, A., & Hatta, I. 1995. Atomic images of saturated and unsaturated fatty acids at liquid/graphite interface and difference of tunneling currents between them observed by scanning tunneling microscopy. Japanese Journal of Applied physics, 34(1):610-619.

8- James, B.J., Jing, Y., & Chen, X.D. 2003. Membrane fouling during filtration of milk-a microstructural study. Journal of Food Engineering, 60(4):431-437.

9- Juang, R.S., Chen, H.L., & Chen, Y.S. 2008. Membrane fouling and resistance analysis in dead-end ultrafiltration of bacillus subtilis fermentation broths. Separation and Purification Technology, 63(3):531-538.

10- Kolanowski, W., Jaworska, D., & Weissbrodt, J. 2007. Importance of instrumental and sensory analysis in the assessment of oxidative deterioration of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid-rich foods. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87(2):181-191.

11- Kolanowski, W., & Laufenberg, G. 2006. Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. European Food Research and Technology, 222(3-4):472-477.

12- Kumar, N.S.K., & Bhowmick, D.N. 2006. Separation of fatty acids/triacylglycerol by membranes. Journal of the American Oil Chemists' Society, 73(3):399-401.

13- Letisse, M., Rozieres, M., Hiol, A., Sergent, M., & Comeau, L. 2006. Enrichment of EPA and DHA from sardine by supercritical fluid extraction without organic modifier: i. optimization of extraction conditions. The Journal of Supercritical Fluids, 38(1):27-36.

14- Mehrparvar, A., & Rahimpour, A. 2015. Surface modification of novel polyether sulfone amide (PESA) ultrafiltration membranes by grafting hydrophilic monomers. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 28:359-368.

15- Metcalfe, L.D, Schmitz, A.A., & Pelka, J.R. 1966. Rapid preparation of fatty acid esters from lipid for gas chromatography analysis. Analytical Chemistry, 38(3):514-515.

16- Gamez-Meza, N., Noriega-Rodriguez, J.A., Medina-Juarez, L.A., & Angulo-Guerrero, O.2003. Concentration of EPA and DHA from fish oil by hydrolysis and urea complexation. Food Research International, 36(7):721-727.

17- Nourbakhsh, H., Emam-Djomeh, Z., Mirsaeedghazi, H., Omid, M., & Moieni, S. 2014. Study of different fouling mechanisms during membrane clarification of red plum juice. International Journal of Food Science & Technology, 49(1):58-64.

18- Rodriguez, N.R., Beltran, S., Jaime, I., de Diego, S.M., Sanz, M.T., & Carballido, J.R. 2010. Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: a review. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11(1):1-12.

19- Ranjbaran, F., Omidkhah, M.R., & Ebadi Amooghin, A. 2015. The novel Elvaloy4170/functionalized multi-walled carbon nanotubes mixed matrix membranes: fabrication, characterization and gas separation study. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 49:220-228.

20- Rupasinghe, H.P.V, Erkan, N., & Yasmin, A. 2010. Antioxidant protection of eicosapentaenoic acid and fish oil oxidation by polyphenolic-enriched apple skin extract. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(2):1233-1239.

21- Ruxton, C.H.S., Calder, P.C., Reed, S.C., & Simpson, M.J.A. 2005. The impact of longchain n-3 polyunsaturated fatty acids on human health. Nutrition Research Reviews, 18(1):113-129.

22- Saljoughi, E., Amirilargani, M., & Mohammadi, T. 2009. Effect of poly (vinyl pyrrolidone) concentration and coagulation bath temperature on the morphology, permeability, and thermal stability of asymmetric cellulose acetate membranes. Journal of Applied Polymer Science, 111(5):2537-2544.

23- Shahidi, F. 2005. Bailey' Industrial Oil and Fat Products. Wiley and Sons, New York.

24- Sotoft, L.F., Lizarazu, J.M., Parjikolaei, B.R., Karring, H., & Christensen, K.V. 2015. Membrane fractionation of herring marinade for separation and recovery of fats, proteins, amino acids, salt, acetic acid and water. Journal of Food Enginnering, 158:39-47.

25- Wu, L., Yick, K.L., Ng, S.P., & Yip, J. 2012. Application of the box-behnken design to the optimization of process parameters in foam cup molding. Expert Systems with Applications, 39(9):8059-8065.

26- Yesudhason, P., Gopal, T.K., Ravishankar, C.N., Lalitha, K.V., & Kumar, K.N. 2009. Effect of modified atmosphere packaging on chemical, textural, microbiological and sensory quality of seer fish (scomberomorus commerson) steaks packaged in thermoformed trays at 0-2ºC. Journal of Food Processing and Preservation, 33(6):777-797.

Synthesis and Performance Evaluation of ELVALOY®4170 Polymeric Membrane for Separation and Concentration of Omega-3 Fatty Acids

Samaneh Ghasemian[1], Reza Abedini[2*]

1- Ph.D. of Food Technology, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Faculty of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
* Corresponding author (abedini@nit.ac.ir)

Abstract

Omega-3 is an acid that exists in the structure of some fats and has a vital role in the human health. Thus, the widespread research has been done to concentrate and purify the omega-3 from fish oil. In this research, the performance of membrane process in long chain omega-3 fatty acid concentration of Lantern fish oil which contains 25.23 wt.% omega-3, was investigated. To synthesize the membrane, the ELVALOY®4170 was used and the membrane was prepared through phase inversion method. The morphology of prepared membrane was analyzed using scanning electron microscopy. In concentration process, the effects of three parameters including temperature, pressure and mixing rate were studied through Box-Behnken statistical method. Scanning electron microscopy images showed that the prepared membrane consists of porous structure with thin dense toplayer. The obtained results from concentration process studied through ANOVA method and indicated that between evaluated parameters, temperature had the highest impact on concentration process. Moreover, the fouling behavior of membranes at different mixing rate was studied and outcomes revealed that the lowest fouling occurred at 100 rpm. Among various concentration process parameters, the highest value omega-3 concentration of 37.32% was obtained at temperature of 40 °C, pressure of 5 bar and mixing rate of zero.

Keywords: Fouling, Membrane, Omega-3, Pressure, Temperature

قالب پیش‌نویس مقاله برای مجله پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی با بکارگیری امکانات استایل (سبک) در نرم‌افزار وُرد ۲۰۰۷ (سبک عنوان)

نام و نام‌خانوادگی نگارنده اول[۱]، نام و نام‌خانوادگی نگارنده دوم[۲*]، نام و ... نگارنده سوم[۱]، .... (سبک نویسندگان)

۱- مرتبه علمی نگارنده، رشته تخصصی، نام سازمان، نام شهر، نام کشور (سبک مشخصات نویسندگان)
۲- استادیار گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (email@address.ac.ir)

چکیده (سبک عنوان چکیده)

چکیده فارسی با قلم B Nazanin11 در قالب یک پاراگراف، پس از اسامی نویسنده(گان) قرار گیرد. چکیده باید در عین مختصر بودن، به روشنی گویای محتوای مقاله بوده و صنعتی‌بودن طرح در مقاله اشاره شود و با تأکید بر روش‌ها، بیانگر نتایج و اهمیت کاربرد آنها باشد و در آن از کلمات اختصاری مبهم استفاده نشود. از ذکر منابع نیز خودداری گردد. تعداد کلمات چکیده بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ کلمه است. واژه‌های کلیدی با قلم B Nazanin11 به صورت برجسته و به ترتیب حروف الفبا نگارش شوند. تعداد **واژگان کلیدی** از ۵ مورد بیشتر نباشد. **از آوردن پاورقی در عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی اجتناب گردد** (سبک چکیده)

تاریخ دریافت:
تاریخ پذیرش:

واژه‌های کلیدی (سبک عنوان واژه های کلیدی)
اختصاری
الفبا
پاراگراف
کلمات (سبک واژه های کلیدی)

مقدمه (سبک عنوان سطح ۱)

این قالب جهت آماده‌سازی مقاله آماده شده است. کلیه تنظیمات مربوط به صفحه و فواصل از اطراف، در این قالب اعمال شده است. لطفا یک کپی از این فایل را در قسمتی از رایانه ذخیره نموده و پس از آن با کپی و سپس چسباندن[1] متن خود در این فایل، سبک[2] مربوط را انتخاب نمایید. همچنین در هر قسمت از مقاله پس از چسباندن متن می‌توانید از مسیر زیر، به طور مستقیم سبک مربوط را اعمال فرمایید:

Paste option > match with Destination format

مقاله‌ای برای چاپ پذیرفته خواهد شد که متن کامل آن قبلاً در هیچ مجله یا نشریه‌ای منتشر و یا برای چاپ به سایر مجلات ارائه نگردیده باشد. در مقالاتی که دارای چند مؤلف هستند ترتیب اسامی و حقوق مؤلفین بر عهده ارسال کننده مقاله (نویسنده مسئول) خواهد بود. مسئولیت هر مقاله از نظر علمی بر عهده نویسنده(گان) خواهد بود. در صورتی که مقاله برای چاپ پذیرفته نشود، عیناً به نویسنده مسئول مسترد خواهد شد. مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری هیأت داوران ارزیابی شده و در صورت تصویب طبق ضوابط خاص مجله به نوبت چاپ خواهد رسید. هیأت تحریریه مجله در رد یا قبول و اصلاح مقالات آزاد است.

[1] Paste
[2] Style

مقدمه حاوی مروری بر پژوهش‌های گذشته با استناد به مدارک منتشر شده قبلی و شامل معرفی و توجیه موضوع مورد بررسی باشد و هدف بررسی را بوضوح روشن نماید.

مواد و روش‌ها شامل شرح کامل مواد یا وسایل بکار گرفته شده و روش آزمایش در بررسی باشد. نتایج و بحث باید شامل تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده در ارتباط با تحقیق مورد نظر باشد. متن مقاله با قلم B Nazanin 12 و عناوین اول و دوم به ترتیب با قلم B Nazanin 12 و B Nazanin 11 بصورت برجسته تایپ شود. از سیستم شماره‌گذاری برای عناوین استفاده **نشود**. همچنین شماره زیرنویس‌ها در هر صفحه از یک شروع شده و توسط خود نرم‌افزار ورد شماره‌گذاری شود و از تایپ کردن شماره خودداری شود. فاصله بین خطوط در متن مقاله Single بدون فاصله قبل و بعد انتخاب گردد. کلمات انگلیسی در متن با قلم Times New Roman 10 تایپ شوند. کلیه معادلات و روابط موجود در متن مقاله در سطر جداگانه و به ترتیب شماره گذاری گردند. واحدها باید در مقیاس متریک (SI) ارائه گردند و تمامی آنها به صورت کلمات فارسی و بعد از اعداد آورده شوند (مثال: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر). از بکار بردن کلمات خارجی- غیر از اسامی علمی- در متن خودداری و در صورت نبودن معادل فارسی فراگیر، آنها را به فارسی نوشته و اصل کلمه به صورت زیرنویس در همان صفحه ارجاع داده شود. اسامی علمی (جنس و گونه گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها) در تمام مقاله به صورت مایل تایپ شود.

پاراگراف‌های دوم به بعد در هر عنوان با فرورفتگی به اندازهٔ ۵ میلی‌متر از شروع سطر و بدون فاصله پس یا پیش از پاراگراف است. هنگام استفاده از علایمی نظیر ، : . ؛ و غیره، به خاطر داشته باشید که کلیهٔ این علایم بدون فاصله از حرف قبلی و با یک فاصله از حرف بعدی نوشته می‌شوند.

جهت مشخص نمودن احتمال، حرف P به صورت حرف بزرگ انگلیسی و مایل با قلم Times New Roman 10 درج گردد ($P<۰/۰۵$). پرانتزها با قلم فارسی تایپ شوند.

* در صورتی که اصول بدیهی نگارش در مقاله رعایت نگردیده باشد، پیش از ارسال به داوری به نویسنده مسترد خواهد شد (برخی از اصول نگارشی در جدول ۱ آورده شده است) (**سبک متن اصلی**).

جدول، شکل و عکس (**سبک عنوان سطح ۲ و ۳**)

عنوان جدول و شکل با قلم B Nazanin10 و بصورت برجسته و متن مربوط به توضیح جدول‌ها و شکل‌ها با قلم B Nazanin10 و بصورت معمولی تایپ شود. عنوان شکل در پایین و با فرمت وسطچین (در صورتی که عنوان شکل بیش از یک خط باشد از فرمت راست‌چین استفاده شود) و عنوان جدول در بالا و با فرمت راست‌چین نوشته شده و گویای نتایج مندرج در آن باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول بصورت زیرنویس ارائه گردد. جدول‌ها و شکل‌ها در محل مناسب و به ترتیب در داخل متن مقاله گنجانده شود. جدول‌ها بدون خطوط عمودی و با حداقل خطوط افقی باشند. عنوان جدول باید مختصر و گویای ارتباط عوامل مورد بحث جدول باشد. اعداد در جدول‌ها، شکل‌ها و سایر قسمت‌های مقاله باید به فارسی باشند. عکس‌ها باید دارای مقیاس باشند و در صورت اقتباس از منابع دیگر باید منبع مورد استفاده ذکر گردد.

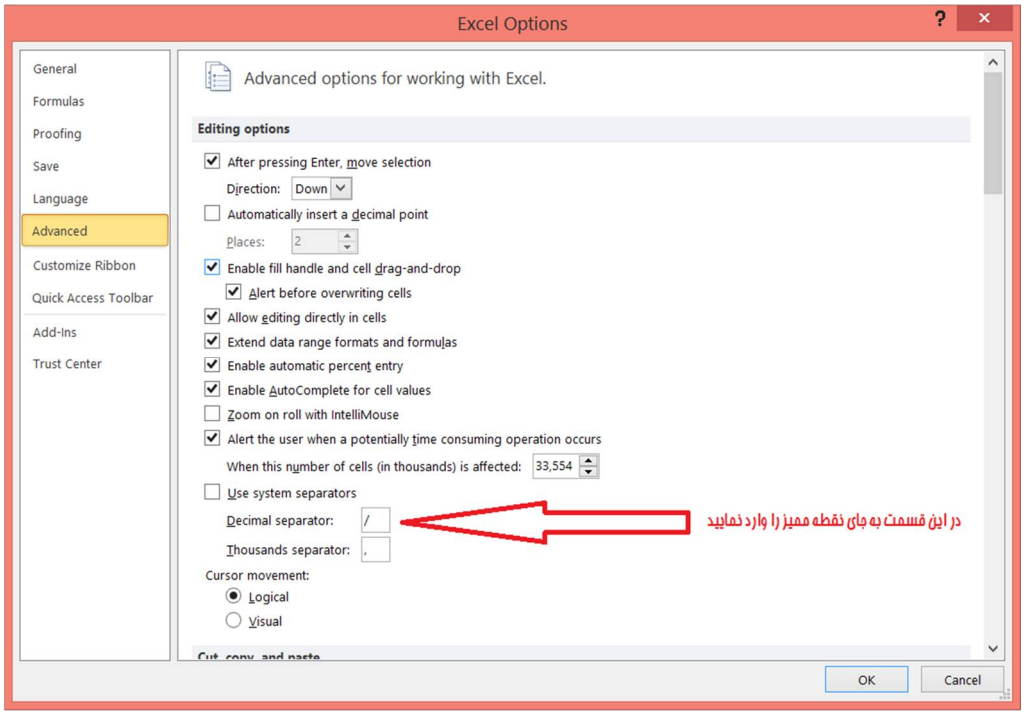
توجه: شکل‌ها باید از کیفیت مناسب برای چاپ برخوردار باشند (حتی الامکان در قالب TIFF) و از الگوهای سیاه و سفید برای ترسیم آنها استفاده شود. ممکن است برای چاپ، شکل‌ها کوچک‌تر شوند؛ بنابراین نوشته‌ها و اعداد روی شکل‌ها باید متناسب و کاملاً خوانا باشند.

نکته مهم: جهت درج اعداد اعشاری روی محور نمودارها می‌بایست از اعداد فارسی با ممیز (/) استفاده گردد و استفاده از نقطه به عنوان ممیز قابل قبول نخواهد بود. برای این منظور می‌توانید قلم‌های واجد این قابلیت (مجموعه قلم پروین) را دانلود نمایید. نحوه درج ممیز فارسی به جای نقطه در شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۲ و شکل‌های ۲ و ۳ به عنوان نمونه پیشنهاد می‌شود.

جدول ۱- برخی از اصول نگارش (سبک عنوان جدول) (http://www.persianacademy.ir/fa/das.aspx)

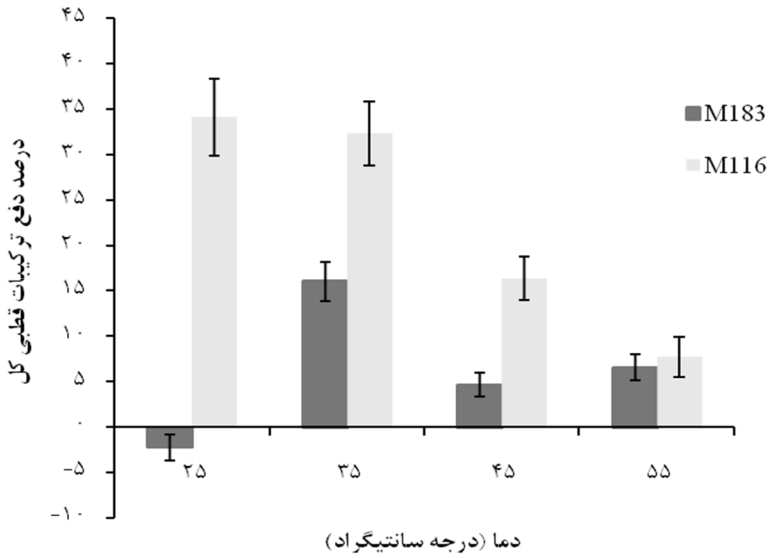
نکته نگارشی	راهنمای صفحه کلید
گذاشتن تشدید همیشه ضرورت ندارد مگر در جایی که موجب ابهام شود: معین/معیّن	SHIFT+ب
تنوین (اً)	SHIFT+ض=ً
آن همیشه جدا نوشته می‌شود مگر: آنها، آنجا، آنکه، بدان، آنچه، وانگهی	
این همیشه جدا نوشته می‌شود مگر: اینها، اینجا، اینکه، بدین	
-تر/ -ترین به غیر از بیشتر/ بیشترین، کمتر/ کمترین، بهتر/ بهترین، مهتر، مهترین، بقیه جدا نوشته می‌شوند.	
چه جدا از کلمه پیش از خود نوشته می‌شود، مگر در: چرا، چگونه، چقدر، چطور، چسان چه جدا از کلمه پس از خود نوشته می‌شود، مگر در: آنچه، چنانچه	
حرکت‌گذاری تنها در حدی لازم است که احتمال بدخوانی و ابهام داده شود: عُرضه/عَرضه؛ حَرف/حِرَف	SHIFT+ی/س/ش
که همیشه جدا نوشته می‌شود به جز در سه مورد: بلکه، اینکه، آنکه	
می– نمی با رعایت نیم‌فاصله، همواره جدا نوشته می‌شوند.	نیم‌فاصله (Ctrl+-)
ها (نشانه جمع) با رعایت نیم‌فاصله جدا از کلمه پیش از خود نوشته می‌شود (به جز در مورد آنها)	
یک در ترکیب، جدا از جزءِ پس از خود نوشته می‌شود، مگر در موارد: یکتا، یکجا، یکدست، یکدفعه، یکدیگر، یکرنگ، یکرو، یکسان، یکسره، یکسو، یکشنبه، یکنواخت	
نقطه (.)، دونقطه (:)، ویرگول (،) همواره به کلمه پیش از خود می‌چسبند ولی بعد از آنها درج یک فاصله الزامی است.	ک+SHIFT=: ف+SHIFT=،
تأمین، تأثیر و امثال این کلمات با حمزهٔ ساکن در وسط کلمه (أ) نوشته می‌شوند.	د+SHIFT=أ
حمزهٔ پایانی پس از حرف صدادار بلند «آ» حذف می شود، مانند: ابتدا، انتها، املا، انشا، اجرا و ...	
در حالت نسبت و همراهی با «یا» ی وحدت و نکره و نیز در اضافه، به جای حمزه، «ی» قرار می گیرد، مانند: ابتدای، انتهای، املای، انشای، اجرای و ...	
اگر کلمه-ی فارسی باشد، هرگز در میان کلمه یا پایان کلمه به صورت «حمزه» نیست، بنابراین همواره با حرف «ی» نوشته می‌شود. مانند: آیین نه آئین، پاییز نه پائیز، پایین نه پائین، روییدن نه روئیدن و ...	
نشانه اضافه پس از کلمه‌های مختوم به های بیان حرکت (ـه) به صورتی یایی نیمه (ء) بالای (ها) نوشته می‌شود، مانند: محمولهٔ غذا	ل+SHIFT=ۀ
(پرانتز ابتدا، به کلمه بعد و پرانتز انتها، به کلمه قبل از خود می‌چسبند) و به ترتیب از کلمه قبل و بعد از خود فاصله می‌گیرند.	
به املای برخی از کلمات رایج در مقالات حوزه صنعت غذا نظیر فرآوری، فرآیند/فرایند و ... توجه شود.	ا+SHIFT=آ



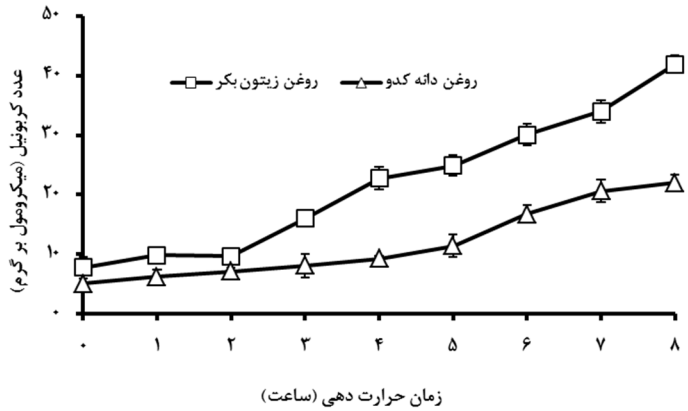
شکل ۱- نحوه درج ممیز فارسی به جای نقطه در نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ (سبک عنوان شکل)

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی مواد آلی مورد استفاده

	pH	فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم)		خاکستر (درصد)
		Cd	Pd	
لجن فاضلاب	۷/۴	۰/۸۸	۱/۲	۸۶/۸
کمپوست	۷/۰۸	۶۵۷/۸۳	۹/۴	۹/۴



شکل ۱- اثر اندازه حفره‌های غشا و دما بر درصد دفع ترکیبات قطبی کل تراوه طی اولترافیلتراسیون روغن کانولا با غشا PVDF. تیرک‌های ترسیم شده نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده است.



شکل ۲- تغییر عدد کربونیل روغن های زیتون بکر و دانه کدو طی فرایند حرارتی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد. تیرک‌های ترسیم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه گیری شده است.

روابط و فرمول‌های ریاضی (سبک عنوان سطح ۲ و ۳)

جهت تایپ روابط و فرمول‌های ریاضی از ابزار معادله[1] موجود در نرم‌افزار آفیس با قلم کامبریا مث[2] ۹ استفاده شود و نحوه تایپ از سمت چپ انجام شود و جهت شماره‌گذاری از شماره فرمول در داخل پرانتز استفاده شود. دقت شود فرمول‌ها به صورت عکس در متن قرار داده نشود.

در نوشتن فرمول‌ها رعایت نکات زیر الزامی است:

۱- در فرمول‌نویسی پارامترها و متغیرها به صورت ایتالیک می‌آیند، ولی اعداد، کلمات، توابع مشخص و واحدها به صورت غیرایتالیک می‌آیند.

۲- در صورتی که فرمول طولانی باشد و طول آن از یک سطر تجاوز کند، باید در جای مناسب شکسته شده و ادامه فرمول در سطر بعدی آورده شود و از فشرده کردن آن پرهیز شود.

۳- وقتی ادامه فرمول در سطرهای بعدی آورده می‌شود، باید از سطر دوم به بعد از سمت چپ

[1] Insert -> Symbols -> Equation
[2] Cambria Math

فرورفتگی داشته باشد.

۴- شماره هر فرمول در گوشه سمت راست فرمول درج می‌شود.

۵- دقت شود از نقطه‌ممیز یا همان نقطه پایان جمله $(a\,.\,b)$ به جای نقطه‌ضرب $(a\,.\,b)$ استفاده نشود.

رابطهٔ (۱)

$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L_0)^2 + (a_i - a_0)^2 + (b_i - b_0)^2}$$

نحوه ارسال مقاله (سبک عنوان سطح ۱)

جهت ارسال مقاله، لازم است ابتدا کاربران در پایگاه اینترنتی نشریه به آدرس http://journals.rifst.ac.ir ثبت نام نموده و سپس مقاله خود را به صورت آنلاین ارسال نمایند. بدیهی است کاربرانی که قبلاً ثبت نام کرده اند و نام کاربری و کلمه عبور دریافت کرده اند نیازی به ثبت نام مجدد ندارند و با وارد کردن نام کاربری و کلمه عبور وارد سایت شده و ارسال مقاله جدید را انجام می دهند.

هزینه مقالات (سبک عنوان سطح ۱)

در صورت پذیرش مقاله جهت چاپ، به ازای هر صفحه مبلغ صد و پنجاه هزار ریال بابت هزینه‌های داوری، ویراستاری، چاپ و ارسال یک نسخه از نشریه دریافت می‌گردد.

فرم تعهد نویسندگان (سبک عنوان سطح ۱)

نویسندگان محترم می‌باید فرم تعهد که در صفحه نخست پایگاه اینترنتی نشریه (در زیر منوی راهنمای نویسندگان) قرار داده شده است را دریافت نموده و پس از تکمیل و امضاء، تصویر آن را به همراه فایل‌های دیگر در هنگام ارسال مقاله جدید بارگذاری نمایند.

منابع

منابع مورد استفاده باید شامل جدیدترین اطلاعات در زمینه کار مورد نظر باشند. استناد به منابع در متن مقاله به سبک هاروارد (Harvard System: Author – Date Scheme) انجام گیرد. بدین ترتیب که نام خانوادگی نویسنده و سال انتشار منبع در پایان جمله و داخل پرانتز نوشته شود. برای منابع خارجی نیازی به ترجمه فارسی اسامی نیست و در متن عیناً به آن اشاره شود. در صورتی که تعداد نویسندگان بیش از دو نفر باشند فقط به ذکر نام خانوادگی نویسنده اول و سپس "همکاران" و یا بصورت لاتین "*et al.,*" اکتفا شود. برای مثال:

Sparks و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که....

این امر احتمالاً به دلیل جذب مواد جامد در فرایند اسمزی می باشد که بر روی نفوذ پذیری سلول ها تأثیر می‌گذارد و... (Nelson & Sommers, 1982; Sparks *et al.*, 2009).

فتحی و همکاران (۱۳۸۶) تغییرات رنگ کیوی را مورد بررسی...

تنظیم فهرست منابع نیز مطابق شیوه هاروارد انجام گیرد. در تنظیم منابع ابتدا منابع فارسی و در ادامه آن منابع لاتین به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده و بصورت نام خانوادگی و نام نویسنده(گان)، سال انتشار، عنوان مقاله یا کتاب، نام مجله یا ناشر، شماره جلد و صفحات مقاله یا کتاب نوشته شود. از سیستم شماره‌گذاری نرم‌افزار ورد استفاده شود و از تایپ شماره‌ها خودداری شود.

وقتی چند اثر از یک نویسنده استفاده می‌شود، ترتیب شماره‌گذاری این مقالات برحسب سال انتشار آنها (از جدید به قدیم) انجام گیرد.

منابع فارسی با قلم B Nazanin 11 و منابع انگلیسی با قلم Time new Roman 10 و فاصله بعد از هر منبع ۸pt انتخاب شود. تورفتگی منابع به صورت Hanging و ۰/۵ لحاظ گردد.

مثال‌ها

منابع فارسی

۱- شایگان، ج. و افشاری، ع. ۱۳۸۸. بررسی وضعیت آلاینده‌های شهری در فاضلاب‌های شهری و صنعتی در اراضی زراعی و باغی استان‌های جنوبی ایران. نشریه آب و خاک، ۶۱:۲۳-۵۳.

۲- ملکی، م. و دخانی، ش. ۱۳۷۴. صنایع غذایی. جلد اول، انتشارات دانشگاه شیراز، صفحات ۱۰۱-۳۳.

۳- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۷۳. روش اندازه‌گیری پایداری روغن‌ها و چربی‌های خوراکی در برابر اکسید شدن. استاندارد ملی ایران، شماره ۳۷۳۴ ، چاپ اول.

۴- قیطران‌پور، آ. ۱۳۹۲ .بررسی تأثیر افزودن ایزولهٔ پروتئین سویا بر کنتیک انتقال جرم، ویژگی‌های فیزیکی و روند انتقال جرم در آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- گل‌کار، ع.، نصیرپور، ع. و کرامت، ج. ۱۳۹۲. بررسی برهم‌کنش الکترواستاتیک بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی در حالت محلول و سیستم امولسیونی. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۹-۷ آبان ماه، شیراز.

منابع لاتین

مجله علمی

4- Sparks, D.L., Thompson, H.A., & Gupta, H.V. 2009. Visible changes in macro mica particles that occur with nickel depletion. Water, Air and Soil Pollution, 31:217-230.

عنوان ژورنال باید به صورت کامل و غیراختصاری درج گردد.

کتاب

5- Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.

یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited book)

6- Nelson, D.W., & Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P. 539-579. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monoger. 9. ASA and SSSA, Madison. WI.

همایش ها

7- Berrada, B. 2004. Option for water management during drought. P. 29-37. In E.D. Martin (ed.) Proceedings of the 4th Annual Four Corners Irrigation Workshop, 8-10 Jul. 2004. Soil and Water Conservation Society, New Mexico, USA.

درگاه الکترونیکی (Website)

8- Mathieu, R., Richards H.M., Brooks, S.J., Stewart, W. and Sbih M. 2004. Relationships between Radarsat SAR data and surface moisture in soil. International. Journal of Remote Sensing 24(2):65-81. Available at http://www.informaworld.com/contentUa/V.24-2-2004/article9.htm (visited 5September 2010).

9- Food and Agriculture Organization (FAO). Visited in September 2013. Available online at: http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor

A template for preparing papers in journal of research and innovation in food science and technology using styles in Microsoft word 2007(style: English title)

First and Family name of Author[1], First and Family name of Author [2*], (Style: Authors)

1- Professor, Name of the Department, University Name, Mashhad, Iran
2- Assistant Professor, Name of the Department, University Name, Mashhad, Iran (Style: Authors' Affiliation)
*Corresponding author (email@address.ac.ir)

Abstract (Style: Abstract Title)

The submitted articles are required to be written in English including an abstract which must comply with the following rules: 1) the title must be written at the top of the page, in the center, using Times New Roman BOLD, 14 pt. 2) The main words (not the prepositions) in the title must be capitalized. 3) The authors' names must be written, under the title, using Times New Roman BOLD, 12 pt. The names are followed by the authors' titles and their universities' titles using Times New Roman 11pt. 4) The keywords must be written, following the abstract text, using Times New Roman BOLD, 11 pt. (Style: Abstract)

Keywords (Style: Keywords Title): Authors' names, Main words, Title

چکیده و واژه‌های انگلیسی

چکیده انگلیسی در انتهای مقاله (بعد از فهرست منابع) قرار گیرد. عنوان انگلیسی با قلم Times New Roman 14 و به صورت برجسته در وسط سطر آورده شود. ابتدای واژه‌های اصلی عنوان انگلیسی مقاله با حروف بزرگ نوشته شود. اسامی نویسنده(گان) با قلم Times New Roman 12 و به صورت برجسته در وسط سطر و پس از آن درجه علمی و محل خدمت با قلم Times New Roman 11 و به صورت معمولی تایپ شود. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد و تعداد کلمات چکیده بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ کلمه است. چکیده انگلیسی با قلم Times New Roman 11 معمولی پس از اسامی نویسنده(گان) قرار گیرد. واژگان کلیدی انگلیسی (keywords) با قلم Times New Roman 11 به صورت برجسته پس از چکیده انگلیسی آورده شوند. تعداد واژگان کلیدی انگلیسی برابر فارسی آن باشد.

http://journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

JRIFST

به نام خدا

فرم اشتراک نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

خواهشمند است فرم زیر را تکمیل نموده و به آدرس زیر ارسال فرمایید:

مشهد، کیلومتر ۱۲ بزرگراه مشهد ـ قوچان، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

صندوق پستی: ۹۱۸۹۵/۱۵۷/۳۵۶، کدپستی: ۷۶۹۳۳-۹۱۸۵۱ نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

نام و نام خانوادگی:.....

نشانی:.....

.....

تلفن:.....

مایل به اشتراک مجله از تاریخ / / می‌باشم.

بهای اشتراک سالیانه ۱۰۰۰۰۰۰ ریال

(بهای اشتراک سالیانه برای دانشجویان شامل ۵۰ درصد تخفیف، معادل ۵۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد.)

حق اشتراک بایستی به حساب **سیبا** شماره **۲۱۷۲۰۱۱۷۰۱۰۰۸** بانک **ملی** شعبه **سجاد** به نام **پژوهشکده علوم و صنایع غذایی** بابت حق اشتراک نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی واریز و فیش آن همراه با فرم و کپی کارت دانشجویی (درصورت استفاده از تخفیف دانشجویی) ارسال گردد.

تاریخ: **امضاء:**

هیأت داوران مقالات این شماره:

دکتر شهرام بیرقی طوسی	گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر ابوالفضل پهلوانلو	گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر علیرضا حق‌پرست	گروه پاتوبیولوژی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر منیرالسادات شاکری	گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر هدی شهیری	دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر مصطفی شهیدی نوقابی	گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر زهرا شیخ‌الاسلامی	بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
دکتر علیرضا صادقیان	گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
مهندس مریم عامری	گروه ریزسازواره‌های صنعتی، جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر محمد قربان‌پور	گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر داوود کلانتری	گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
مهندس نجمه گردنوشهری	گروه ریزسازواره‌های صنعتی، جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر عبدالخالق گل‌کار	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر محمد گلی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد اصفهان (خوراسگان)
دکتر اسعد محمدامینی	گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان
دکتر بهروز محمدزاده	گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
دکتر سیدمحمود موسوی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر معصومه مقیمی	گروه صنایع غذایی و شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی _ واحد گنبدکاووس
دکتر هادی مهدویان‌مهر	شرکت صنایع قهوه پارت سازان
دکتر سارا ناجی طبسی	گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر فریبا نقی‌پور	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرج
دکتر مصطفی نوروزی	گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا

Contents

The Effect of Encapsulated Camel milk's Lactoferrin with Whey Protein Isolate-pectin Complexes on the Growth and Viability of MG63 Osteoblast Cell …… 119
Masoumeh Raei, Fakhri Shahidi, Majid Farhoodi, Seid Mahdi Jafari, Ali Rafe

Production and Optimization of Functional Fiber Supplement Based on Food By-products Using Extrusion Technology ……. 133
Sara Niasti, Mohammad Hossein Haddad Khodaparast, Elnaz Milani, Arash Koocheki

The Effect of Antioxidant Properties of Brown Algae (*Iyengaria Stellata)* Extract on the Shelf-life and Sensory Properties of Rainbow Trout *(Oncorhynchus Mykiss)*Fillet Nugget during Frozen Storage (-18 °C) …….. 149
Omid Asadi Farsani, Moazameh Kordjazi, Bahareh Shabanpour, Seyed Mahdi Ojagh, Aniseh Jamshidi

Comparison of Different Cell-wall Disruption and Fatty Acid Extraction from *Dunaliella Salina* Microalgae …… 167
Farzaneh Mehrabi, Seyed Ali Jafarpour, Ghorban-Ali Nematzadeh

Investigating the Effect of Roasting Time on Some Physicochemical, Technological, Flowability, Antioxidant and Sensory Properties of Roasted Soybean Flours as Cocoa Substitute …….. 177
Elham Zayerzadeh, Mostafa Mazaheri Tehrani, Samira Yeganehzad, Mohebbat Mohebbi

The Effect of Adding Flour Soy and Lentil to Doughnut on its Physicochemical Properties……..…… 197
Mandana Khorsand, Majid Aliabadi, Jalil Jarrahiferiz

The Evaluation of Quality Parameters and Drying Efficiency of Button Mushroom in Hybrid Microwave-Hot Air Dryer ……. 213
Amin Omari, Nasser Behroozi-Khazaei, Faroogh Sharifian

Synthesis and Performance Evaluation of ELVALOY®4170 Polymeric Membrane for Separation and Concentration of Omega-3 Fatty Acids……...…… 225
Samaneh Ghasemian, Reza Abedini

Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology

License No. 92.20519 **Vol. 7, No. 2, 2018**

Published by: Research Institute of Food Science and Technology

Executive Manager: R. Kadkhodaee	Associate Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology
Editor-in-Chief: S.A. Mortazavi	Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Executive Director: S. Naji-tabasi	Assistant Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology

Administrative Coordinator: T. Shojaee-devin

Editorial Board:

S.A. Mortazavi	Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
F. Shahidi	Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Gh. Rajabzadeh	Associate Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology
M.N. Eshtiaghi	Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University of Thialand
I. Alemzadeh	Professor, Department of Food Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology
S. Abbasi	Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Tarbiat Modares University
B.S. Fazli Bazzaz	Professor, Department of Pharmaceutical Chemistry, School of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences
S.M. Mousavi	Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
R. Kadkhodaee	Associate Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology
M. Hosseini Nezhad	Associate Professor, Department of Food Biotechnology, Research Institute of Food Science and Technology
H.B. Ghoddusi	Senior Lecturer & Research Fellow, School of Human Sciences, London Metropolitan University
A. Farahnaky	Food, Nutrition, Pharmaceutical and Nutraceutical Discipline Group, School of Biomedical Sciences, Faculty of Science, Charles Sturt University, Wagga Wagga, NSW, Australia
S.M. Jafari	Professor, Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Printed by: Research Institute of Food Science and Technology

Address: Research Institute of Food Science and Technology, km 12 Mashhad-Quchan Highway, Mashhad, PO. Box: 91895/157/356

Tel: 051-35425328-9

Website: http://journals.rifst.ac.ir

Email: jrifst@rifst.ac.ir

Research Institute of Food Science and Technology

Journal of **Research and Innovation in Food Science and Technology**

Volume 7, Number 2, 2018 ISSN: 2252-0937

Contents

The Effect of Encapsulated Camel milk's Lactoferrin with Whey Protein Isolate-pectin Complexes on the Growth and Viability of MG63 Osteoblast Cell 119
Masoumeh Raei, Fakhri Shahidi, Majid Farhoodi, Seid Mahdi Jafari, Ali Rafe

Production and Optimization of Functional Fiber Supplement Based on Food By-products Using Extrusion Technology 133
Sara Niasti, Mohammad Hossein Haddad Khodaparast, Elnaz Milani, Arash Koocheki

The Effect of Antioxidant Properties of Brown Algae (*Iyengaria Stellata*) Extract on the Shelf-life and Sensory Properties of Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Fillet Nugget during Frozen Storage (-18 °C) 149
Omid Asadi Farsani, Moazameh Kordjazi, Bahareh Shabanpour, Seyed Mahdi Ojagh, Aniseh Jamshidi

Comparison of Different Cell-wall Disruption and Fatty Acid Extraction from Dunaliella Salina Microalgae 167
Farzaneh Mehrabi, Seyed Ali Jafarpour, Ghorban-Ali Nematzadeh

Investigating the Effect of Roasting Time on Some Physicochemical, Technological, Flowability, Antioxidant and Sensory Properties of Roasted Soybean Flours as Cocoa Substitute 177
Elham Zayerzadeh, Mostafa Mazaheri Tehrani, Samira Yeganehzad, Mohebbat Mohebbi

The Effect of Adding Flour Soy and Lentil to Doughnut on its Physicochemical Properties 197
Mandana Khorsand, Majid Aliabadi, Jalil Jarrahiferiz

The Evaluation of Quality Parameters and Drying Efficiency of Button Mushroom in Hybrid Microwave-Hot Air Dryer 213
Amin Omari, Nasser Behroozi-Khazaei, Faroogh Sharifian

Synthesis and Performance Evaluation of ELVALOY®4170 Polymeric Membrane for Separation and Concentration of Omega-3 Fatty Acids 225
Samaneh Ghasemian, Reza Abedini