



پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

جلد ۸، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

شاپا: ۰۹۳۷-۲۲۵۲ (چاپی)، ۲۳۵۷-۲۵۳۸ (الکترونیکی)

فهرست مطالب

بررسی اثر صمغ های زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و بافتی دونات فاقد گلوتن ۱

آرزو فاضلی، مصطفی مظاهری طهرانی، مهدی کریمی، علیرضا صادقیان، آرش کوچکی

بررسی تأثیر جایگزینی آرد بلوط (کوئرکوس برانتی) بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی همبرگر ۱۵

وحیده سالارکریمی، محمدجواد وریدی، مهدی وریدی

تولید و ارزیابی نانولیپوزوم های حامل پپتیدهای زیست فعال به دست آمده از ضایعات ماهی با استفاده از آنزیم آلکالاز ۳۱

شیرین حسنی، مصطفی شهیدی نوقابی، سیدمهدی اجاق

بهینه سازی تولید پروتئین هیدرولیز شده با قابلیت ضد اکسندگی بالا از کنجاله کنجد به کمک روش سطح پاسخ ۴۵

عذرا موسوی نسب، علیرضا صادقی ماهونک، محمد قربانی، مهران اعلمی، نسیم مشکین فر

ریزپوشانی توأم روغن ماهی و ویتامین E به روش کوآسرواسیون ترکیبی و بهینه یابی کارایی آن با روش سطح پاسخ (RSM) ۵۳

فاطمه میرزایی کلایی، سیدعلی جعفرپور

مطالعه تأثیر فشار در عرض غشا، pH و غلظت ماده فعال سطحی آنیونی SDS بر عملکرد فرایند اولترافیلتراسیون بهبود یافته با مایسل (MEUF) در تصفیه پساب لبنی به روش سطح پاسخ ۶۷

علی آراسته نوده، سوسن خسرویاری، وحید حکیمزاده

تهیه فیلم نانوکامپوزیت سلولز باکتریایی/ پلی پیرول - اکسید روی و بررسی ویژگی های فیزیکومکانیکی، ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی آن ۷۹

سجاد پیرسا، توحید شوموسی، احسان مقدس کیا

ارزیابی ویژگی های فیزیکوشیمیایی، بافتی و پختی اسپاگتی غنی شده با سبوس جو و صمغ زانتان ۹۱

راضیه نیازمند، سارا ناجی طبسی، آتنا مدیری، مسلم جهانی

نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

شماره پروانه: ۹۲/۲۰۵۱۹

جلد ۸، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

صاحب امتیاز: مؤسسه پژوهشی 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 نانوفناوری 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 بی بی صدیقه فضلی بزاز	استاد گروه شیمی دارویی دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد
دکتر سید محمود 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 حسینی نژاد	دانشیار گروه زیست فناوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر حمید بهادر قدوسی	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: ۲۵۰۰۰ ریال (دانشجویان ۱۲۵۰۰۰ ریال)

نشانی: مشهد، کیلومتر ۱۲ بزرگراه مشهد-قوچان، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، صندوق پستی: ۹۱۸۹۵/۱۵۷/۳۵۶

تلفن: ۰۵۱-۳۵۴۲۵۳۲۸-۹

پایگاه اینترنتی: <http://journals.rifst.ac.ir>

آدرس الکترونیکی: jrifst@rifst.ac.ir

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

صفحه

عنوان مقالات

بررسی اثر صمغ‌های زانتان، گوار و آنزیم ترانس‌گلوکامیناز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی دونات فاقد

گلوتن ۱

آرزو فاضلی، مصطفی مظاهری‌طهرانی، مهدی کریمی، علیرضا صادقین، آرش کوچکی

بررسی تأثیر جایگزینی آرد بلوط (کوئرکوس برانتی) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی همبرگر ۱۵

وحیده سالارکریمی، محمدجواد وریدی، مهدی وریدی

تولید و ارزیابی نانولیپوزوم‌های حامل پپتیدهای زیست‌فعال به‌دست‌آمده از ضایعات ماهی با استفاده از آنزیم

آلکالاز ۳۱

شیرین حسنی، مصطفی شهیدی نوقابی، سیدمهدی اجاق

بهینه‌سازی تولید پروتئین هیدرولیزشده با قابلیت ضد اکسندگی بالا از کنجاله کنجد به کمک روش سطح پاسخ ۴۵

عذرا موسوی‌نسب، علیرضا صادقی ماهونک، محمد قربانی، مهران اعلمی، نسیم مشکین‌فر

ریزپوشانی توأم روغن ماهی و ویتامین E به روش کوآسرواسیون ترکیبی و بهینه‌یابی کارایی آن با روش سطح

پاسخ (RSM) ۵۳

فاطمه میرزایی کلایی، سیدعلی جعفرپور

مطالعه تأثیر فشار در عرض غشا، pH و غلظت ماده فعال سطحی آنیونی SDS بر عملکرد فرایند اولترافیلتراسیون

بهبودیافته با مایسل (MEUF) در تصفیه پساب لبنی به روش سطح پاسخ ۶۷

علی آراسته‌نوده، سوسن خسرویاری، وحید حکیم‌زاده

تهیه فیلم نانوکامپوزیت سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول – اکسید روی و بررسی ویژگی‌های فیزیکومکانیکی، ضد میکروبی و

آنتی‌اکسیدانی آن ۷۹

سجاد پیرسا، توحید شوموسی، احسان مقدس‌کیا

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و پختی اسپاگتی غنی‌شده با سبوس جو و صمغ زانتان ۹۱

راضیه نیازمند، سارا ناجی طبسی، آتنا مدیری، مسلم جهانی

بررسی اثر صمغ‌های زانتان، گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی دونات فاقد گلوتن

آرزو فاضلی^۱، مصطفی مظاهری تهرانی^{۲*}، مهدی کریمی^۳، علیرضا صادقیان^۴، آرش کوچکی^۲

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

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول (mmtehrani@um.ac.ir)

۳- دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۴- استادیار، گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

چکیده

در این پژوهش بهینه‌یابی فرمولاسیون دونات فاقد گلوتن و تأثیر افزودن صمغ‌های زانتان، گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و اثرات متقابل آنها بررسی شد. ترکیبات متغیر هرکدام با مقدار صفر تا ۲ درصد وزنی آرد به فرمول دونات فاقد گلوتن اضافه شدند. با استفاده از طرح آماری مخلوط، نقطه بهینه فرمول براساس ویژگی‌های میزان جذب روغن، تخلخل، حجم مخصوص، رنگ پوسته و سفتی بافت بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین جذب روغن در بالاترین سطح آنزیم و در غیاب صمغ‌ها رخ داد، در کمینه مقادیر صمغ گوار و آنزیم و بیشینه مقدار صمغ زانتان کمترین جذب روغن اتفاق افتاد. ترانس‌گلوتامیناز با ایجاد اتصالات عرضی بین پروتئین‌های آرد برنج، آرد سیب‌زمینی و کنسانتره پروتئینی سویا و تشکیل شبکه پروتئینی، زانتان با ایجاد حالت ویسکوالاستیک و گوار با اعمال ویژگی‌های بین سطحی به ترتیب باعث افزایش تخلخل و حجم مخصوص دونات‌ها شدند. در برهم‌کنش بین ترکیبات، افزایش مقادیر صمغ گوار منجر به روشن‌تر شدن رنگ دونات‌ها شد. بررسی آزمون سفتی بافت نشان داد نمونه بدون آنزیم حاوی هر دو صمغ دارای بیشترین سفتی است. این امر به افزایش ویسکوزیته توسط اثرات هم‌افزایی این دو صمغ برمی‌گردد. با افزودن آنزیم و ایجاد شبکه پروتئینی نرمی بافت بیشتر شد. نتایج این پژوهش نشان داد که فرمول حاوی هر سه ترکیب به‌خوبی می‌تواند شبکه پروتئینی را در دونات فاقد گلوتن شبیه‌سازی کند. طبق آنالیز آماری و بهینه‌یابی انجام‌شده، نمونه حاوی ۰/۹۸ درصد صمغ زانتان، ۰/۴۴ درصد صمغ گوار و ۰/۵۸ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بهترین فرمول شناخته شد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹

واژه‌های کلیدی

آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

دونات

سلیاک

فاقد گلوتن

هیدروکلوئید

مقدمه

جزء پروتئینی برخی غلات مانند گندم، چاودار و جو است (Peshin, 2001). این بیماری با اختلال در واسطه‌گرهای ایمنی و به دنبال آن ایجاد سوءهاضمه و عدم جذب مواد

بیماری سلیاک یک ضعف ایمنی روده‌ای است که از عدم هضم گلوتن در افراد مستعد ژنتیکی ایجاد می‌شود. گلوتن

غذایی و ویتامین‌ها و تحلیل ریزپرزها شناسایی می‌شود. پُرزها به‌طور طبیعی مواد مغذی را از غذاهای مصرفی جذب می‌نمایند. در پاسخ به گلوتن مصرفی سیستم ایمنی بدن بیمار باعث تخریب در سطح ریزپرزهای روده کوچک می‌گردد. زمانی که پُرزها تخریب می‌شوند، بدن نمی‌تواند مواد مغذی موردنیاز را دریافت کند. درنتیجه سوءجذب ایجاد می‌گردد و بیمار در اثر عدم جذب مواد موردنیاز دچار کاهش وزن و علائم مربوط به کمبود مواد مغذی می‌گردد (Blades, 1997; Murray, 1999; Schuppan, 2009; Junker, & Barisani, 2009). طبق آخرین بررسی‌ها آمار افراد مبتلا به سلیاک به‌طور فزاینده‌ای در ایران روبه‌افزایش است.

یکی از مهم‌ترین مشکلات بیماران سلیاک تأمین مواد غذایی موردنیازشان است. همچنین نبود تنوع، پایین بودن کیفیت و طعم نه‌چندان مطلوب منابع غذایی مورد استفاده این افراد مشکل بزرگی است که سال‌ها چالش بزرگ متخصصین صنعت غذا بوده است. از آنجاکه محصولات پخت^۱ عمده‌ترین منبع درگیر با گلوتن هستند، تهیه محصولات پخت بدون گلوتن در اولویت است.

دونات‌ها معروف‌ترین نان‌های حجیم و سرخ‌شده به روش غوطه‌وری هستند. برای اولین بار دونات در آلمان و هلند تهیه شد به این صورت که تکه‌های باقی‌مانده از خمیر نان را در روغن سرخ کرده و به آن اولیکوک^۲ می‌گفتند (Rehman, Paterson, Hussain, Murtaza, & Mehmood, 2007). دونات دارای دو بخش داخلی و خارجی است. بخش خارجی که در سطح قرار دارد سرخ‌شده و مستقیماً در تماس با روغن قرار می‌گیرد. این قسمت بیشترین دفع رطوبت و بیشترین جذب روغن را دارد و در حالت ایده‌آل رنگ قهوه‌ای طلایی و ساختار ترد دارد. بخش داخلی مشابه کیک است و اگر در طول سرخ‌کردن حرارت کافی دریافت نکند، ژلاتیناسیون نشاسته به تعویق می‌افتد و درنتیجه رطوبت در این قسمت بالاتر از سطح است که باعث می‌شود که در طول ذخیره‌سازی، رطوبت به بخش سرخ‌شده مهاجرت کند و تردی سطح را از بین ببرد (Tan & Mittal, 2006).

سرخ‌کردن فرایند پیچیده‌ای است که به‌طور گسترده در تهیه مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش محصولات غذایی به‌منظور سرخ‌شدن وارد محیط روغنی با دمای بالاتر از نقطه‌جوش آب می‌شوند (Dueik, 2010; Robert, & Bouchon). میزان روغن یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی فراورده‌های سرخ‌کردنی می‌باشد. میزان جذب بالای روغن هم برای تولیدکننده گران تمام می‌شود و هم موجب چرب و بی‌مزه‌شدن محصول می‌گردد. با این وجود بافت محصول کم‌چرب نیز نامطلوب است. مواد غذایی سرخ‌شده به دلیل داشتن طعم مطبوع و بافت ویژه‌ای که دارند همواره موردتوجه مصرف‌کنندگان بوده‌اند. در صنعت مواد غذایی ویژگی‌های کیفی محصولات تولیدشده از اهمیت زیادی برخوردار است. رنگ و بافت از مهم‌ترین خصوصیات کیفی مواد غذایی هستند که تحت تأثیر سرخ‌کردن قرار می‌گیرند.

صمغ‌ها با موفقیت در تولید فراورده‌های نانویی با هدف حفظ و کنترل رطوبت، حفظ گاز خمیر، بهبوددهنده بافت و کندکننده بیاتی به کاربرده می‌شوند (Bárcenas, Bedito, & Rosell, 2004; Guarda, Rosell, 2004; Bedito, & Galotto). افزودن انواع مختلف هیدروکلوئیدها به محصولات پخت به خواص عملکردی آنها مانند حلالیت، ویژگی‌های رئولوژیکی، برهم‌کنش با دیگر اجزاء بستگی دارد (Mandala, Kapetanakou, & Kostaropoulos, 2008). علاوه بر صمغ‌ها، آنزیم‌ها نیز در مراحل مختلف تولید نان و فراورده‌های پخت به کاربرده می‌شوند، چرا که در کاهش سفتی مغز نان، تأخیر در بیاتی و بهبود تشکیل خمیر و کیفیت نهایی فراورده مؤثر هستند (Gray & Bemiller, 2003).

در تحقیقی اثرات افزودن صمغ‌های زانتان و گوار بر بیاتی کیک‌های برنجی فاقد گلوتن طبخ‌شده در فر با دمای مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که مخلوط صمغ زانتان-گوار منجر به کاهش سختی، افت وزن، آنتالپی برگشت و تغییر در مقادیر ویسکوزیته برگشتی کیک طی دوره نگهداری شده است. همچنین، مشخص شد که نوع فر (سنتی یا میکروویو) در پارامترهای بیاتی کیک‌های فاقد گلوتن مؤثر می‌باشد (Sumnu, Koksel, Sahin, 2010; Basman, & Meda).

^۱ Bakery Products

^۲ Olykoek

پروتئین‌های آرد برنج و سویا (۵ درصد وزنی/وزنی) که در حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز اتفاق می‌افتد را مورد مطالعه قرار دادند. برهم‌کنش بین پروتئین‌های برنج و سویا به وسیله تشکیل باندهای کووالانت درون مولکولی و به‌طور غیرمستقیم، باندهای دی‌سولفید بین پروتئین‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزودن پروتئین‌های سویا به آرد برنج تعادل اسیدهای آمینه را بهبود می‌بخشد.

هدف اصلی این پژوهش تولید دونات بدون گلوتن با بهره‌گیری از صمغ‌های زانتان و گوار در حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز است. امید است با به‌کارگیری آنزیم ترانس گلوتامیناز و توانایی این آنزیم در ایجاد پیوندهای عرضی بین پروتئین‌های کنسانتره سویا، آرد برنج و آرد سیب‌زمینی، صمغ گوار با داشتن فعالیت بین سطحی و ویسکوزکنندگی مناسب، و زانتان با داشتن توانایی ایجاد شبکه ویسکوالاستیک و ایجاد ویسکوزیته مطلوب به شبیه‌سازی شبکه گلوتن و تثبیت آن در دونات بدون گلوتن برسیم.

مواد و روش‌ها

اجزاء فرمولاسیون شامل: آرد گندم، آرد برنج، آرد سیب‌زمینی، تخم‌مرغ و شکر از بازار محلی شهر مشهد خریداری شدند. مخمر از نوع پودر خشک فعال بود و از کارخانه خمیرمایه فریمان تهیه شد. صمغ‌های گوار، زانتان و آنزیم ترانس گلوتامیناز از شرکت (Modernist, Eliot), Pantry, ساخت آمریکا) تهیه شد. کنسانتره پروتئین سویا با ۷۰ درصد پروتئین (Shandong Sanwei, ساخت چین) و شورتنینگ (برند Crisco, ساخت آمریکا) مورد استفاده قرار گرفت.

روش تهیه دونات

برای تهیه خمیر از همزن حرفه‌ای کیچن‌اید (مدل Artisan, ساخت آمریکا) استفاده شد. ابتدا مواد خشک شامل: آرد برنج، آرد سیب‌زمینی، شکر، مخمر، آنزیم، زانتان و گوار با هم مخلوط شدند. تخم‌مرغ به مدت ۳ دقیقه با استفاده از همزن برقی با دور تند زده شد. سپس، شورتنینگ به تخم‌مرغ افزوده و به مدت ۱ دقیقه با دور تند یکنواخت گردید. آنگاه، مواد خشک به مواد تر اضافه شده و با هوک خمیرگیر دستگاه هم‌زده شد. آب تدریجاً

Kim, Choi, Shin و Kim (۲۰۱۵) اثرات هیدروکسی‌پروپیل متیل سلولز (HPMC^۱) بر جذب روغن و بافت دونات سویا فاقد گلوتن را بررسی کردند. نتایج نشان داد که دونات حاوی سویا در حدود دو برابر جذب روغن و افت رطوبت بیشتری در مقایسه با نمونه شاهد داشته و همچنین حجم مخصوص کمتر و بافت سفت‌تری دارد. همچنین، نتایج نشان داد که افزودن هیدروکسی‌پروپیل متیل سلولز کیفیت دونات‌های فاقد گلوتن را همراه با آرد سویا به‌طور زیادی بهبود بخشید. اثر افزودن آردهای نخودفرنگی و اویار سلام زرد^۲ بر نان‌های فاقد گلوتن نشان داد که آرد نخودفرنگی حجم مخصوص نان را افزایش و آرد اویار سلام زرد حجم را کاهش داد. همچنین، مشخص شد که نان حاوی هر دو آرد خواص پخت (افت پخت، حجم مخصوص، رنگ مغز و پوسته و سختی مغز) را حتی زمانی که شورتنینگ یا امولسیفایر کاهش یا حذف گردید به‌خوبی حفظ کردند (Aguilar, Albanell, Miñarro, & Capellas, 2015).

AngNawut و Intasen, SirichoNworraNit (۲۰۱۶)

برای تولید دونات، آرد گندم را با مقادیر صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آرد برنج سیاه (نوعی برنج تایلندی) جایگزین کردند. آنها دریافتند با افزایش مقادیر آرد برنج سیاه، خاکستر، رطوبت و محتوی فیبر افزایش درحالی‌که چربی و مقادیر پروتئین کاهش یافت. همچنین با افزایش درصد آرد برنج سیاه سفتی و قابلیت جویدن دونات‌ها افزایش و به‌هم‌پیوستگی و فنریت و حجم مخصوص کاهش یافت. درنهایت پذیرش کلی دونات‌هایی که با مقادیر ۲۰ و ۴۰ درصد از آرد برنج سیاه تهیه شدند با نمونه‌های تهیه‌شده از ۱۰۰ درصد آرد گندم برابری می‌کرد.

ترانس گلوتامیناز^۳ یک نوع آنزیم میکروبی می‌باشد که با تشکیل پیوندهای عرضی بین گروه آمینو زنجیره جانبی لایزین از یک پروتئین و گروه کربوکسیل‌آمید زنجیره جانبی گلوتامین از پروتئین دیگر، پروتئین‌های جدید با ویژگی‌های خاص و منحصر به فرد ایجاد می‌کند. Marcoa و Rosell (۲۰۰۸)، اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی را بر الگوی الکتروفورز برنج، سویا و مخلوط سویا-برنج مورد بررسی قرار دادند. آنها برهم‌کنش‌های بین

^۱ Hydroxypropyl Methylcellulose

^۲ Tigernut Flour

^۳ Transglutaminase (TGase)

بخش از نرم افزار مجموعه ای از نقاط روشن و تاریک است که محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به عنوان شاخصی از میزان تخلخل نمونه ها برآورد می شود. بدیهی است که هر چقدر این نسبت بیشتر باشد بدین معناست که میزان حفره های موجود در بافت دونات (میزان تخلخل) بیشتر است. در عمل با فعال کردن قسمت آنالیز نرم افزار، این نسبت محاسبه و درصد تخلخل نمونه ها اندازه گیری شد (Haralick & Shanmugam, 1973).

حجم مخصوص

جهت انجام این آزمون از استاندارد شماره ۵-۱۰۰۰ (AACC, 2000) استفاده شد. برای این منظور در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، قطعه جدا شده از هر نمونه دونات به ابعاد ۲×۲ سانتی متر را با ترازوی دیجیتال (مدل Bosch PE 626) و دقت ۱ میلی گرم توزین گردید. سپس در داخل یک استوانه مدرج ۱۰۰۰ سی سی دانه ارزن ریخته شد، پس از آن دانه های موجود داخل یک بشر، خالی شدند. نمونه دونات داخل استوانه قرار داده شد و از دانه های ارزن موجود داخل بشر روی آن ریخته شد تا اینکه حجم استوانه به ۱۰۰۰ سی سی برسد. از روی میزان ارزن باقی مانده در داخل بشر حجم مخصوص دونات اندازه گیری و گزارش شد. نهایتاً حجم ویژه دونات ها از تقسیم حجم بر جرم آنها به دست آمد.

تعیین رنگ پوسته

آنالیز رنگ پوسته دونات از طریق تعیین سه شاخص L^* ، a^* و b^* صورت پذیرفت. جهت اندازه گیری این فاکتورها تصویری با وضوح ۱۲۰۰ پیکسل از سطح نمونه ها به وسیله اسکنر تهیه گردید. سپس مربعی به ابعاد ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل از تصویر دونات بریده شد و در اختیار نرم افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای Lab در بخش Plugins، شاخص های فوق محاسبه گردیدند (Sun, 2011).

سفتی بافت

آزمون بافت سنجی با استفاده از دستگاه بافت سنج (QTS Texture analyzer, CNS Farnell, Essex, UK) ساخت ایالات متحده آمریکا و آنالیز داده ها توسط نرم افزار (TexturePro V2.0) دستگاه انجام شد. بدین منظور

به طور هم زمان افزوده شده و به مدت ۵ الی ۸ دقیقه کاملاً با مابقی مواد مخلوط شد. پس از شکل گیری، خمیر به مدت ۱۵ دقیقه در گرم خانه با دمای ۳۸ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد قرار گرفت. پس از طی زمان تخمیر اولیه، سطح کار با آرد برنج آردپاشی شد. خمیر به ضخامت ۱ سانتی متر پهن و قالب زنی با قالب استاندارد صورت گرفت. به منظور پهن کردن خمیر با ضخامت یکسان از وردنه قابل تنظیم (Roll Matic، ساخت ایتالیا) استفاده شد. وزن هر چانه خمیر قالب زده شده 50 ± 1 گرم تنظیم شد. خمیرهای قالب زده شده به مدت ۴۵ دقیقه درون گرم خانه با دمای ۳۸ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد قرار گرفتند. پس از طی این مدت حجم خمیرها دو برابر شد. سپس، خمیرها توسط سرخ کن دیجیتال مولینکس (مدل Moulinex DR5، ساخت فرانسه) در روغن با دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد به روش غوطه وری تا رسیدن به رنگ قهوه ای سرخ شدند. به منظور تهیه دونات شاهد آرد گندم، تخم مرغ، شکر، مخمر و شورتنینگ مورد استفاده قرار گرفت. مراحل آماده سازی همانند مراحل تولید دونات بدون گلوتن انجام شد.

جذب روغن

به منظور اندازه گیری درصد جذب روغن از روش Alipore، Kashani Nezhad، Maghsudlo و Jafari (۲۰۰۹) و فرمول طراحی شده توسط آنها (رابطه ۱) استفاده شد (Alipore et al., 2009).

رابطه (۱)

(درصد روغن خمیر - درصد روغن دونات) = جذب روغن (درصد)

تخلخل

به منظور ارزیابی میزان تخلخل مغز دونات از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور به وسیله اسکنر (مدل HP Scanjet G3010) تصویری به ابعاد ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل از مغز دونات ها با وضوح ۱۲۰۰ پیکسل تهیه گردید. سپس تصاویر در اختیار نرم افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن قسمت ۸ بیت، تصاویر سطح خاکستری^۱ ایجاد شد. جهت تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی^۲، قسمت دودویی نرم افزار فعال گردید. این

^۱ Gray Scale Image

^۲ Binary Image

پاسخ میزان جذب روغن از لحاظ آماری مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۱). در مقایسه تیمارهای مختلف مشخص گردید بیشترین میزان جذب روغن در نمونه شماره ۲ (۰ درصد زانتان، ۰ درصد گوار و ۲ درصد ترانس گلوتامیناز) و کمترین میزان جذب روغن در نمونه شماره ۵ (۱/۳۳ درصد زانتان، ۰/۳۳ درصد گوار و ۰/۳۳ درصد ترانس گلوتامیناز) مشاهده گردید. معادله پیشگویی جذب روغن نیز نشان می‌دهد بیشترین ضریب جذب مربوط به ترانس گلوتامیناز می‌باشد. به نظر می‌رسد عدم حضور صمغ‌های زانتان و گوار تأثیر زیادی در افزایش میزان جذب روغن دارد. از آنجایی که در نبود صمغ‌ها رطوبت خمیر (آب آزاد) بسیار بالا بود، با خروج رطوبت در حین سرخ کردن، روغن بیشتری وارد نمونه دونات شد. طبق یافته‌های Sananse و Pawar, Badgujar, Sakhale (۲۰۱۱) نیز هرچه افت رطوبت ماده غذایی در حین سرخ کردن بیشتر باشد، جذب روغن بیشتر می‌شود. براساس نتایج Arora, Sandhu, Kaur و Sharma (۲۰۱۵) افزودن صمغ‌های عربی، گوار، زانتان و کتیرا به فرمول بیسکویت بدون گلوتن به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) خصوصیات کیفی از جمله ظرفیت جذب آب، ظرفیت جذب روغن و فعالیت امولسیون‌ی نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل صمغ‌های زانتان-گوار اختلاف معنی‌داری در کاهش جذب روغن دارد ($P \leq 0.01$). صمغ زانتان و گوار به دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب و افزایش ویسکوزیته، مانع خروج رطوبت و جذب روغن شدند. همان‌طور که از ضرایب معادل پیشگویی (جدول ۲) مشخص است، تلفیق صمغ زانتان-ترانس گلوتامیناز به‌طور موفق‌تری در برابر جذب روغن ایستادگی کردند. این درحالی‌است که هریک از صمغ‌ها به تنهایی نتوانستند جذب روغن را کاهش دهند. درنهایت اثر هم‌افزایی هر سه ترکیب در شرایطی که مقدار زانتان بیشتر از گوار و ترانس گلوتامیناز بود منجر به کاهش بیشتر جذب روغن شد. به عبارتی در برهم‌کنش بین این سه جزء مؤثرترین ترکیب در کاهش جذب روغن، صمغ زانتان بود.

نمونه‌های دونات در زیر پروب استوانه‌ای از جنس آلومینیوم و با قطر ۲۵ میلی‌متر تحت آنالیز پروفایل بافت^۱ (TPA) قرار گرفتند. نمونه‌ها تحت آزمون فشردگی یک‌طرفه با میزان نیروی ۵ گرم با سرعت پروب ۶۰ میلی‌متر در دقیقه و میزان فشردگی ۵۰ درصد قرار گرفتند و پارامتر سفتی بافت گزارش شد. سرعت برگشت پروب ۲ میلی‌متر در ثانیه در نظر گرفته شد (Karim, 2000; Norziah, & Seow).

آنالیز آماری

در این پژوهش از طرح آماری مخلوط مرکز هندسی سادک^۲ با کمک نرم‌افزار آماری مینی‌تب^۳ نسخه ۱۶ استفاده شد. به منظور ارزیابی صحت مدل‌های برازش داده‌شده، مقادیر R^2 و ضرایب تعیین گردید. منحنی‌های سطح نشان‌دهنده بیشترین میزان پاسخ (وقوع) متغیرهای مستقل هستند و به این ترتیب بهترین حالت ممکن برای تمام متغیرهای آن به عنوان بهینه معرفی شد. جدول تیمار بندی شامل مقادیر مختلف زانتان، گوار و آنزیم در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- تیمارهای تعیین شده با استفاده از طرح آماری مخلوط

ردیف	زانتان	گوار	ترانس گلوتامیناز
۱	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰
۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰
۳	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۶
۴	۰/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۰
۵	۱/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰
۷	۰/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۱/۳۳
۹	۰/۳۳	۱/۳۳	۰/۳۳
۱۰	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

مقادیر متغیرها برحسب درصد آرد در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

میزان جذب روغن

باتوجه به اهمیت میزان جذب روغن در نمونه‌های دونات،

¹ Texture Profile Analysis

² Simplex Centroid Mixture Design

³ Minitab

جدول ۲- مدل‌های پیشگو برای ویژگی‌های دونات براساس متغیرهای ترکیب

ویژگی	مدل پیشگو	R ²
جذب روغن	$7/02 X + 8/38 G + 10/81 T - 12/00 XG^* - 6/17 XT - 3/21 GT - 2/38 XGT$	۶۷/۱۷
تخلخل	$5/84 X + 3/59 G + 6/12 T - 0/48 XG - 1/14 XT - 1/43 GT + 8/65 XGT$	۶۲/۸۰
حجم مخصوص	$0/79 X + 0/82 G + 0/49 T + 0/27 XG + 0/34 XT + 0/15 GT + 0/85 XGT$	۷۳/۹۹
L* پوسته	$11/90 X^{**} + 24/02 G^{**} + 18/94 T^{**} + 15/75 XG^{**} + 22/23 XT^{**} - 4/06 GT^{**} - 9/93 XGT$	۹۴/۸۹
a* پوسته	$4/33 X + 2/92 G + 4/48 T + 0/54 XG + 2/01 XT + 4/04 GT - 12/12 XGT^*$	۷۵/۴۶
b* پوسته	$7/79 X^{**} + 14/71 G^{**} + 8/96 T^{**} + 3/29 XG + 4/07 XT - 1/49 GT + 4/52382 XGT$	۸۸/۴۸
سفیدی	$421/27 X^* + 357/98 G^* + 223/69 T^* + 974/22 XG^{**} + 149/19 XT - 15/08 GT - 150/825 XGT^*$	۹۸/۳۰

صمغ زانتان (X)، صمغ گوار (G) و آنزیم ترانس گلوتامیناز (T)

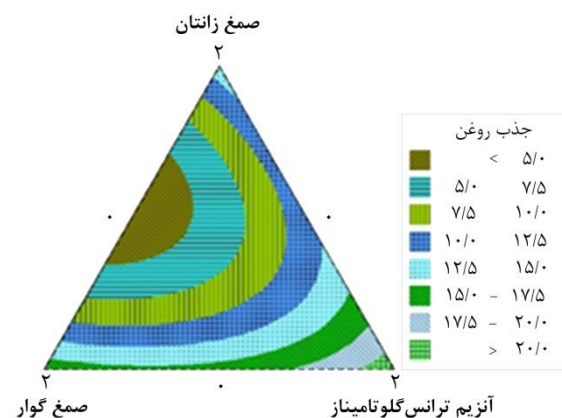
* (P ≤ ۰/۰۵) و ** (P ≤ ۰/۰۱)

تخلخل

براساس جدول (۲) ملاحظه می‌شود درخصوص پارامتر تخلخل بیشترین ضریب تأثیرگذاری مربوط به حضور هر سه ترکیب و برهم‌کنش بین آنها می‌باشد به عبارت دیگر هر سه ترکیب اثرات هم‌افزایی بر تخلخل داشتند (ناحیه مرکزی مثلث-شکل ۲). اثر صمغ‌ها به صورت ترکیبی سبب ضخامت بیشتر حباب‌های هوا شد. حباب‌های هوا با دیواره ضخیم در برابر انبساط در حین فرایند پخت مقاومت نموده و به سادگی پاره نمی‌شوند و در نتیجه تعداد سلول‌های گازی در محصول نهایی افزایش می‌یابد. افزایش تخلخل به دلیل افزایش تعداد سلول‌های گازی و توزیع یکنواخت آنها در محصول می‌باشد (Ziobro, Korus, 2012; Witczak, & Juszczak). همان‌طور که انتظار می‌رفت در حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز و با افزایش سطوح آن اتصالات عرضی بیشتر بین منابع پروتئینی (کنسانتره سویا، لیزین آرد برنج و سیب‌زمینی) شبکه پروتئینی گسترده‌تری تشکیل داد. در نتیجه این امر حباب‌های گاز دی‌اکسید کربن منبسط شده در حین سرخ کردن به سرعت در ساختار شبکه‌ای پروتئینی محبوس و بافت نهایی پوک تر و متخلخل تر شد، اما این فاکتور نمی‌تواند به تنهایی مؤید کیفیت بالای نمونه یادشده (نمونه شماره ۲) باشد.

نتایج پژوهش حاضر با پژوهش Shin, Gang و Song (۲۰۱۰) مطابقت داشت. این محققین به بررسی اثر پروتئین و آنزیم ترانس گلوتامیناز روی نان برنج بدون گلوتن پرداختند. آنها دریافتند این آنزیم به افزایش حجم

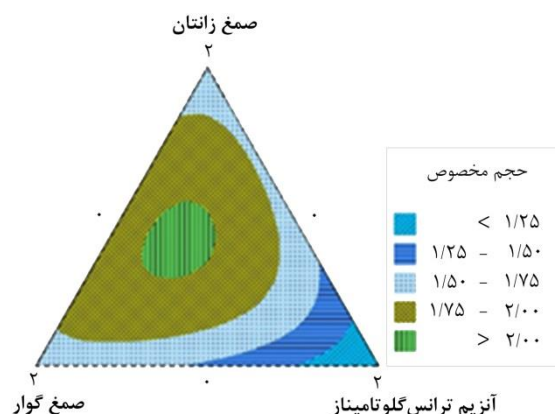
صمغ زانتان به دلیل خاصیت آنیونی که دارد به شدت آب‌دوست بوده و پیوند قوی با مولکول‌های آب برقرار می‌کند. به همین دلیل در حین فرایند سرخ کردن مولکول‌های آب نمی‌توانند از زانتان جدا شده و از پوسته دونات خارج شوند. از این جهت صمغ زانتان با ایجاد مقاومت در برابر افت رطوبت به طور مؤثرتری در کاهش جذب روغن نسبت به گوار شرکت می‌کند. این نتایج مشابه دستاورد Maghsudlo, Mirzaei, Garmakhany, Kashaninejad و Jafari (۲۰۱۴) بود. آنها نشان دادند با استفاده از زانتان به مقدار ۱ درصد میزان جذب روغن خلال‌های سیب‌زمینی ۶۲/۳ درصد کاهش و با استفاده از ۱ درصد گوار ۶۰/۲ درصد کاهش یافت. Kim و همکاران (۲۰۱۵) نیز دریافتند با اضافه کردن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به فرمولاسیون دونات افت رطوبت و به دنبال آن جذب روغن در مقایسه با نمونه شاهد کاهش پیدا کرد.



شکل ۱- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر میزان جذب روغن دونات برحسب درصد

یافته‌های Guarda و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت. طبق یافته‌های این محققین با افزودن صمغ زانتان حجم مخصوص نان زیاد می‌شود.

باتوجه به شکل (۳) مشخص شد که کمترین میزان حجم مخصوص مربوط به نمونه حاوی ۲ درصد ترانس گلوتامیناز بود. دلیل این امر این است که در نبود صمغ‌ها به دلیل نبود شبکه ویسکوالاستیک و ویسکوزیته پایین خمیر، حباب‌های هوا در حین سرخ شدن نمی‌توانند درون شبکه پروتئینی به اندازه کافی منبسط و بزرگ شده و منجر به افزایش حجم محصول گردند. با افزایش نسبت صمغ‌ها به مقدار ترانس گلوتامیناز میزان حجم مخصوص افزایش یافت. این امر مؤید آن است که تنها به دام انداختن حباب‌های هوا درون شبکه پروتئینی نمی‌تواند بر افزایش حجم محصول مؤثر باشد بلکه پایداری این حباب‌ها نیز فاکتور بسیار مهمی است. به عبارتی دیگر این شبکه هیدروکلوئیدی و برهم‌کنش بین پلی‌ساکاریدها با پروتئین‌هاست که پایداریترین ماتریکس را ایجاد می‌کند.

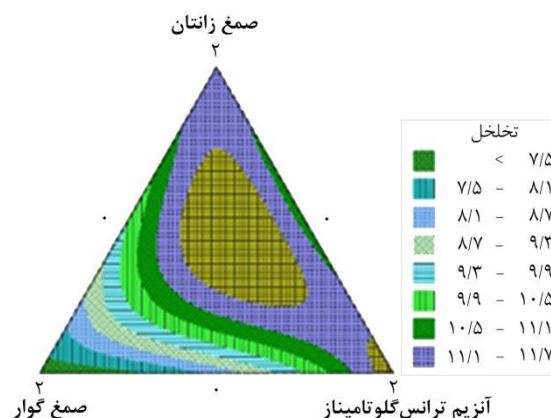


شکل ۳- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر حجم مخصوص برحسب میلی‌لیتر بر گرم

رنگ پوسته دونات

طبق جدول (۲) بیشترین تأثیر مستقل بر روشنایی پوسته را به ترتیب گوار، ترانس گلوتامیناز و زانتان داشتند. برهم‌کنش دوتایی زانتان-گوار و زانتان-ترانس گلوتامیناز اثر افزایشی بر میزان روشنایی داشت. برهم‌کنش سه‌تایی متغیرها موجب کاهش فاکتور روشنایی پوسته شد اما این تغییر معنی‌دار نبود. درباره افزایش میزان مؤلفه رنگی L^*

نان‌ها، تشکیل حباب‌های یکنواخت هوا و بهبود کیفیت نان‌ها کمک کرده و میزان تخلخل را بالا می‌برد.



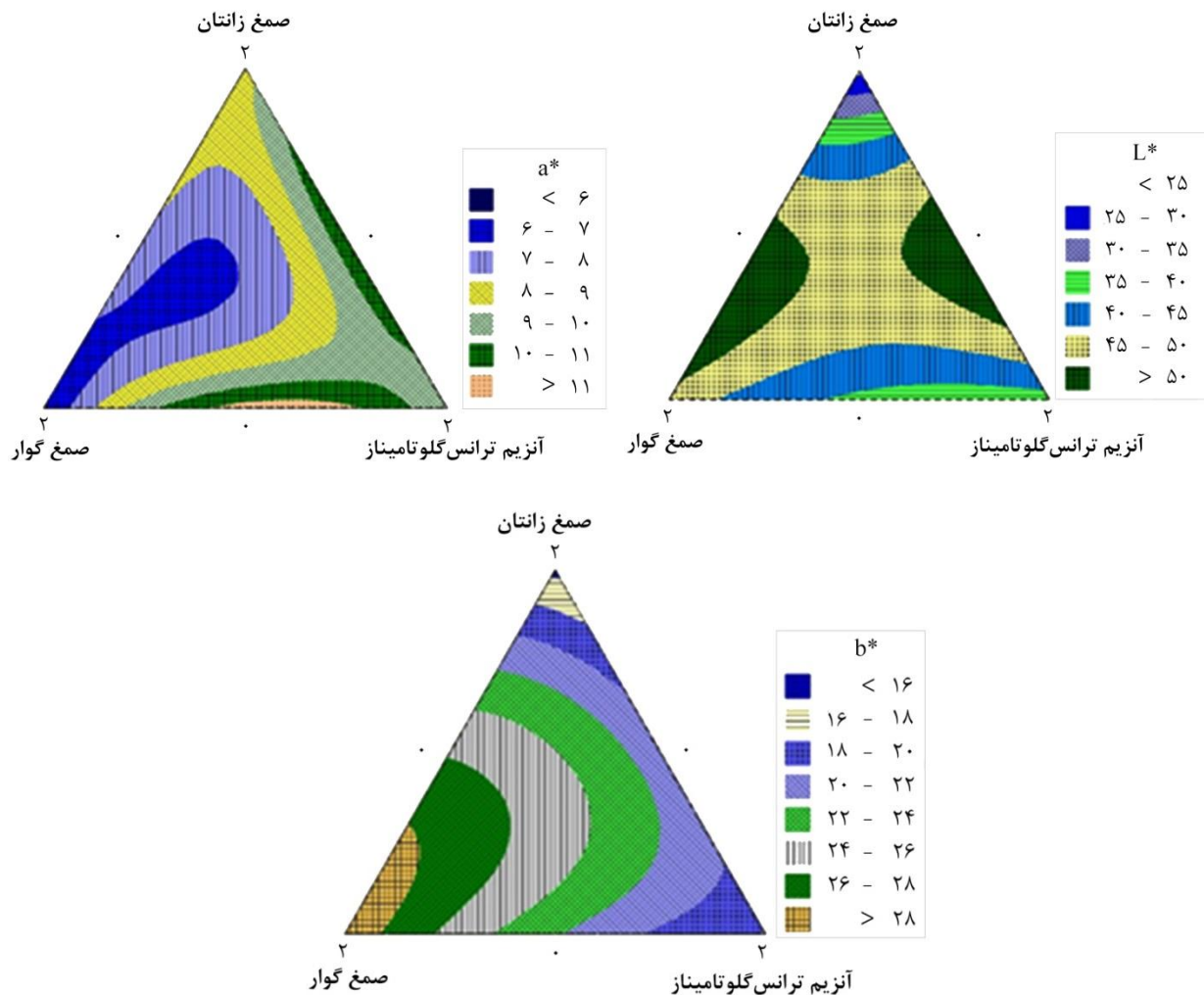
شکل ۲- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر تخلخل برحسب درصد

حجم مخصوص

در بررسی حجم مخصوص (جدول ۲) مشخص شد که بیشترین میزان حجم مخصوص در نمونه حاوی هر سه متغیر دیده می‌شود (ناحیه میانی-شکل ۳). ضریب اثر مستقل زانتان و گوار بسیار به هم نزدیک بود و مؤید این است که هر دو صمغ در افزایش حجم مخصوص مؤثر بودند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد زانتان ظرفیت نگهداری آب بالایی دارد، در نتیجه در مقادیر بیشتر از زانتان رطوبت خمیر بیشتر می‌شود. رطوبت بالا در طول پخت منجر به افزایش فشار داخلی بافت دونات شده و بدین ترتیب حجم محصول افزایش می‌یابد. یافته‌های Rodge, Sonkamble, و Hashmi (۲۰۱۲) مؤید این نتایج می‌باشد. از طرفی زانتان به دلیل توانایی در ایجاد خواص ویسکوالاستیک مشابه گلوتن و با حفظ حباب‌های دی‌اکسیدکربن در افزایش حجم مؤثر است. به علاوه گوار با داشتن بخش پروتئینی و ایجاد برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی به پایداری حباب‌های هوا در امولسیون خمیر کمک می‌کند. Fazeli (۲۰۱۲) نیز دریافت همانند گوار، بخش پروتئینی صمغ شاهی مسئول ایجاد خصوصیات بین سطحی در امولسیون مدل بود. Barcenaz و Rosell (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند هیدروکلوئیدها به عنوان یک مانع در برابر پراکنده شدن گاز عمل کرده و حجم محصولات پخت را افزایش می‌دهند. این نتایج با

مطابقت داشت. در این زمینه Salvadori و Purlis (۲۰۰۹) بیان نمودند تغییرات سطح پوسته، مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین دار توانایی بیشتری در افزایش میزان مؤلفه L^* داشت.

با افزایش مستقل هریک از صمغ‌ها در فرمولاسیون (شکل ۴) باید گفت که صمغ‌ها با حفظ رطوبت و ممانعت از خروج آب در حین فرایند پخت سبب کاهش تغییرات سطح پوسته محصول نهایی و در نتیجه افزایش مؤلفه L^* می‌شوند. این نتایج با یافته‌های Zolfaghari (۲۰۱۰)



شکل ۴- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر فاکتورهای رنگی الف) L^* ، ب) a^* و ج) b^* پوسته

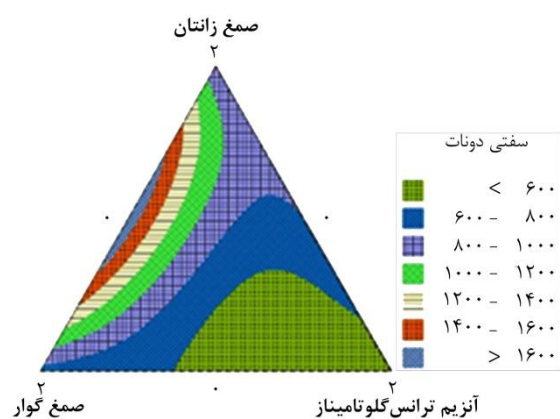
واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد مؤثر و بر رنگ پوسته تأثیر بگذارد (Gerrard et al., 1998; Lorenzen, Neve, 2002; Mautner, & Schlimme).

نتایج به دست آمده از رنگ سنجی نمونه‌های دونات از نظر شاخص a^* در این پژوهش حاکی از آن بود که بیشترین اثر معنی دار بر کاهش فاکتور a^* مربوط به اثر متقابل سه تایی صمغ گوار، زانتان و آنزیم ترانس گلوتامیناز بود. مابقی برهم کنش‌ها و اثرات مستقل متغیرها سبب

علاوه بر این اثر هم افزایی متقابل دوتایی صمغ آنزیم را می‌توان به بهبود ظرفیت نگهداری آب در ژل‌ها به علت فعالیت ترانس گلوتامیناز (Kuraishi, Yamazaki, & Susa, 2001) و همچنین در سیستم‌های بدون گلو تن (Moore, 2006; Heinbockel, Dockery, Ulmer, & Arendt, 2006) دانست. پیشنهاد شده است که آمیدزدایی از گلو تامین و ایجاد پیوند عرضی بین اسیدهای آمینه گلو تامین و لیزین می‌تواند در بهبود ظرفیت نگهداری آب و کاهش

آنزیم ترانس گلوتامیناز خود به تنهایی تأثیر کمی بر افزایش سفتی داشت اما با اثرات متقابلی که با زانتان و گوار داشت به ترتیب باعث افزایش و کاهش سفتی شد. اثرات هر سه ترکیب با هم به طور معنی داری باعث کاهش سفتی محصول شد ($P \leq 0.01$). این تفاوت در نتایج، احتمالاً به دلیل وزن مولکولی پروتئین‌های تولیدشده توسط پیوندهای عرضی ایجادشده با این آنزیم می‌باشد (Marco, Pérez, Ribotta, & Rosell, 2007; Marcoa & Rosell, 2008).

طبق نتایج به دست آمده مهم‌ترین فاکتوری که در نبود شبکه گلوتهنی روی سفتی محصول تأثیر می‌گذارد ویسکوزیته و وزن مولکولی اجزای تشکیل دهنده بافت است و این فاکتور تابعی از غلظت، نوع صمغ، نوع پروتئین و نشاسته و برهم کنش بین آنهاست.



شکل ۵- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر سفتی بر حسب گرم

بهینه‌یابی فرمولاسیون

طبق نتایج به دست آمده (آنالیز داده‌های نمونه شاهد در این مقاله آورده نشده است)، میزان جذب روغن، تخلخل، حجم مخصوص، فاکتورهای L^* ، a^* و b^* و سفتی برای نمونه شاهد به ترتیب ۱۰ و ۱۷/۴۳ درصد، ۳/۵ (میلی لیتر/گرم) و ۵۱/۶۴، ۶/۳۹، ۲۴/۱۶ و ۴۸۹ (گرم) به دست آمد. به منظور بهینه‌یابی فرمول دونات بدون گلوتهن براساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حد بالا، پایین و مطلوب هریک از ویژگی‌ها و وزن و اهمیت آنها باتوجه به پاسخ‌های به دست آمده از نمونه شاهد، تعیین شد (جدول ۳). براساس بهینه‌یابی انجام شده بهترین فرمول حاوی

افزایش این فاکتور شدند. این امر احتمالاً، به دلیل تفاوت ساختار شیمیایی متغیرها در جذب و حفظ رطوبت است.

همان گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود بیشترین تأثیر معنی دار بر افزایش میزان فاکتور b^* ناشی از اثر مستقل متغیرها بود. همانند فاکتور روشنایی، گوار بیشترین تأثیر بر افزایش b^* را داشت. طبق معادله رگرسیونی تنها برهم کنش گوار-ترانس گلوتامیناز منجر به کاهش فاکتور b^* شد. اثر سه تایی متغیرها افزایش این فاکتور را در پی داشت.

سفتی دونات

سفتی از مهم‌ترین فاکتورهای بافتی در ارزیابی کیفی محصولات پخت می‌باشد. به همین جهت تنها آزمون سفتی در این مقاله آورده شده است. باتوجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) هر سه متغیر به طور معنی داری بر سفتی اثر گذاشتند که در این میان اثر مستقل زانتان بیشتر از دو متغیر دیگر بود. بیشترین مقدار سفتی در نمونه شماره ۶ حاوی ۱ درصد صمغ زانتان، ۱ درصد صمغ گوار و فاقد آنزیم به مقدار ۱۷۱۴/۲۹ گرم نیرو به دست آمد ($P \leq 0.05$). از جمله محققین دیگری که به نتایج مشابه رسیدن می‌توان به تحقیق‌های Arunepanlop, Morr, Karleskind و Laye (۱۹۹۶) در خصوص اثر صمغ زانتان در کیک فرشته و Arozarena, Bertholo, Empis, و Bunker و Sousa (۲۰۰۱) در کیک زرد اشاره کرد. آنها نیز دریافتند با افزایش سطوح صمغ زانتان سفتی بافت افزایش می‌یابد. در حضور صمغ‌ها حباب‌های هوا پایدار شده و دیواره سلولی آنها تقویت می‌شود، بنابراین مقاومت نمونه‌های حاوی هر دو صمغ در برابر فشار وارد شده از طرف دستگاه بیشتر شده و سفتی بافت افزایش یافت. از طرفی باید در نظر داشت این دو صمغ اثر هم‌افزایی بر ویسکوزیته داشته که خود منجر به افزایش سفتی می‌شود. طبق نتایج به دست آمده (شکل ۵) دو صمغ زانتان و گوار از روند مشابهی در افزایش سفتی بافت پیروی کردند. زانتان می‌تواند نان با بافتی مشابه آرد گندم در نان‌های بدون گلوتهن ایجاد کند اما این مستلزم استفاده از مقادیر مناسب از این صمغ است زیرا در مقادیر بیشتر از ۲ درصد منجر به سفتی مغز نان می‌شود (Kokelaar, 1994).

۰/۹۸ درصد صمغ زانتان، ۰/۴۴ درصد صمغ گوار و ۰/۵۸ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز به دست آمد. در این فرمول پاسخ‌های پیش‌بینی‌شده به ترتیب ۶/۶۰۷ درصد، ۱۲/۲۲۸ درصد، ۷/۳۳۵، ۴۹/۲۲۵ و ۱/۸۰۸ (میلی‌لیتر/گرم) و ۲۴/۱۰۹ و ۴۹۷/۷۶۴ (گرم) برای آزمون‌های جذب روغن، تخلخل، حجم مخصوص، L^* ، a^* ، b^* و سفتی خواهد بود.

جدول ۳- پارامترهای بهینه‌یابی دونات بدون گلوتن براساس آزمون‌های انجام‌شده

ویژگی	هدف	حد پایین	حد مطلوب	حد بالا	وزن	اهمیت
جذب روغن	کمینه	۶	۱۲	-	۵	۱۰
تخلخل	بیشینه	۱۳	۱۵	-	۵	۱۰
حجم مخصوص	بیشینه	۲	۳/۵۰	-	۵	۱۰
L^* پوسته	بیشینه	۴۸	۵۲	-	۵	۱۰
a^* پوسته	بیشینه	۵	۷	-	۵	۱۰
b^* پوسته	کمینه	-	۲۴	۲۶	۵	۱۰
سفتی	کمینه	-	۴۹۰	۵۵۰	۵	۱۰

نتیجه‌گیری

طبق مطالعه‌های انجام‌شده با افزودن ترکیبات هیدروکلوئیدی می‌توان به فرمول مناسب برای تهیه فراورده‌های آردی بدون گلوتن با مدت ماندگاری مناسب دست یافت. از این رو صمغ‌های زانتان و گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز انتخاب شدند. براساس آزمون‌های انجام‌شده مشخص گردید آنزیم ترانس گلوتامیناز به تنهایی اثر مطلوبی در برابر کاهش جذب روغن نداشته و بالعکس بیشترین جذب در حضور این آنزیم رخ داد. صمغ زانتان و گوار به دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب و افزایش ویسکوزیته مانع خروج رطوبت و جذب روغن شدند. در برهم‌کنش بین این سه جزء مؤثرترین ترکیب در کاهش جذب روغن، صمغ زانتان بود. بیشترین ضریب تأثیرگذاری بر میزان تخلخل مربوط به حضور هر سه ترکیب و برهم‌کنش بین آنها بود. اثر صمغ‌ها به صورت ترکیبی سبب ضخامت بیشتر حباب‌های هوا و پایداری آنها شد. همچنین در حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز شبکه پروتئینی گسترده‌ای در نتیجه ایجاد پیوندهای عرضی بین کنسانتره پروتئینی سویا، لیزین آرد برنج و آرد سیب‌زمینی شد.

در نتیجه این امر حباب‌های دی‌اکسیدکربن منبسط‌شده در حین سرخ‌کردن به سرعت در ساختار شبکه‌ای پروتئینی محبوس و بافت نهایی پوک‌تر و متخلخل‌تر شد. از طرفی در حضور آنزیم حباب‌های ایجادشده به صورت یکنواخت در بافت توزیع شد. بیشترین میزان حجم مخصوص در نمونه حاوی هر سه متغیر دیده شد، صمغ زانتان با ایجاد خواص ویسکوالاستیک و صمغ گوار با فعالیت بین سطحی بر افزایش حجم مخصوص مؤثر بودند. آنزیم به تنهایی اثر منفی بر میزان حجم مخصوص داشت. صافی سطح و رطوبت مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر فاکتورهای رنگی بودند. بر اثر برهم‌کنش هر دو صمغ سفتی بسیار زیاد شده و از کیفیت نمونه کاسته شد. به طور کلی براساس نتایج به دست آمده هریک از این ترکیبات به تنهایی نتوانستند محصول با کیفیت تولید کنند و این اثرات متقابل این سه ترکیب است که منجر به تولید محصول قابل قبول می‌شود. بنابراین براساس بهینه‌یابی انجام‌شده، نمونه حاوی هر دو صمغ با مقادیر ۰/۹۸ درصد صمغ زانتان، ۰/۴۴ درصد صمغ گوار و ۰/۵۸ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز به عنوان بهترین فرمول شناخته شد.

منابع

AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (10th ed.): American Association of Cereal Chemists.

- Aguilar, N., Albanell, E., Miñarro, B., & Capellas, M. (2015). Chickpea and tiger nut flours as alternatives to emulsifier and shortening in gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1Part 1), 225-232. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.045>
- Alipore, M., Kashani Nezhad, M., Maghsudlo, Y., & Jafari, M. (2009). Effect of carrageenan, oil temperature and frying time on oil absorption in fried potato products. *Iranian Food Science And Technology Research Journal*, 5(1), 21-27, (in Persian).
- Arozarena, I., Bertholo, H., Empis, J., Bunger, A., & Sousa, I. (2001). Study of the total replacement of egg by white lupine protein, emulsifiers and xanthan gum in yellow cakes. *European Food Research and Technology*, 213(4-5), 312-316. doi: <https://doi.org/10.1007/s002170100391>
- Arunepanlop, B., Morr, C., Karleskind, D., & Laye, I. (1996). Partial replacement of egg white proteins with whey proteins in angel food cakes. *Journal of Food Science*, 61(5), 1085-1093. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb10937.x>
- Bárcenas, M. a. E., Benedito, C., & Rosell, C. M. (2004). Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 18(5), 769-774. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.12.003>
- Barcenas, M. E., & Rosell, C. M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 1037-1043. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.005>
- Blades, M. (1997). Food allergies and intolerances: an update. *Nutrition & Food Science*, 97(4), 146-151. doi:<https://doi.org/10.1108/00346659710>
- Dueik, V., Robert, P., & Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119(3), 1143-1149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.027>
- Fazeli, A. (2012). *Evaluation oil-in-water emulsions properties stabilized by Lepidium sativum seed gum and whey protein concentrate*. (Unpublished master's thesis), Quchan Islamic Azad University, (in Persian),
- Garmakhany, A. D., Mirzaei, H., Maghsudlo, Y., Kashaninejad, M., & Jafari, S. (2014). Production of low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1334-1341. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-012-0660-9>
- Gerrard, J., Fayle, S., Wilson, A., Newberry, M., Ross, M., & Kavale, S. (1998). The effect of microbial transglutaminase on dough properties and crumb strength of white pan bread. *Journal of Food Science*, 63(3), 472-475.
- Gray, J., & Bemiller, J. (2003). Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 1-21. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x>
- Guarda, A., Rosell, C., Benedito, C., & Galotto, M. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18(2), 241-247. doi:[https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00080-8)
- Haralick, R. M., & Shanmugam, K. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*(6), 610-621. doi:<http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309314>
- Karim, A. A., Norziah, M., & Seow, C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry*, 71(1), 9-36. doi:[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8)
- Kaur, M., Sandhu, K. S., Arora, A., & Sharma, A. (2015). Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1, Part 2), 628-632. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.039>
- Kim, J., Choi, I., Shin, W.-K., & Kim, Y. (2015). Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1Part2), 620-627. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.039>
- Kokelaar, J. J. (1994). *Physics of breadmaking*. (Doctoral dissertation), Kokelaar, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. Retrieved from <http://edepot.wur.nl/202247>

- Kuraishi, C., Yamazaki, K., & Susa, Y. (2001). Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 17(2), 221-246. doi:<https://doi.org/10.1081/FRI-100001258>
- Lorenzen, P. C., Neve, H., Mautner, A., & Schlimme, E. (2002). Effect of enzymatic cross-linking of milk proteins on functional properties of set-style yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 55(3), 152-157. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00065.x>
- Mandala, I., Kapetanakou, A., & Kostaropoulos, A. (2008). Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature: II-Effect of freezing. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1443-1451. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.09.003>
- Marco, C., Pérez, G., Ribotta, P., & Rosell, C. M. (2007). Effect of microbial transglutaminase on the protein fractions of rice, pea and their blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(14), 2576-2582. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.3006>
- Marcoa, C., & Rosell, C. M. (2008). Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *Journal of Food Engineering*, 84(1), 132-139. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.003>
- Moore, M. M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H., & Arendt, E. K. (2006). Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chemistry*, 83(1), 28-36. doi:<https://doi.org/10.1094/CC-83-0028>
- Murray, J. A. (1999). The widening spectrum of celiac disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3), 354-365. doi:<https://doi.org/10.1093/ajcn/69.3.354>
- Peshin, A. (2001). Characterization of starch isolated from potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 38(5), 447-449.
- Purlis, E., & Salvadori, V. O. (2009). Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42(7), 865-870. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.007>
- Rehman, S.-u., Paterson, A., Hussain, S., Murtaza, M. A., & Mehmood, S. (2007). Influence of partial substitution of wheat flour with vetch (*Lathyrus sativus* L) flour on quality characteristics of doughnuts. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1), 73-82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.015>
- Rodge, A., Sonkamble, S., Salve, R., & Hashmi, S. (2012). Effect of hydrocolloid (guar gum) incorporation on the quality characteristics of bread. *Journal of Food Process Technology*, 3(2), 120-133. doi:<https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000136>
- Sakhale, B. K., Badgujar, J. B., Pawar, V. D., & Sananse, S. L. (2011). Effect of hydrocolloids incorporation in casing of samosa on reduction of oil uptake. *Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 769. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0333-0>
- Schuppan, D., Junker, Y., & Barisani, D. (2009). Celiac disease: from pathogenesis to novel therapies. *Gastroenterology*, 137(6), 1912-1933. doi:<https://doi.org/10.1053/j.gastro.2009.09.008>
- Shin, M., Gang, D.-O., & Song, J.-Y. (2010). Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread. *Food Science and Biotechnology*, 19(4), 951-956. doi:<https://doi.org/10.1007/s10068-010-0133-8>
- SirichonworraNit, S., Intasen, P., & AngNawut, C. (2016). Quality of Donut Supplemented with Hom Nin Rice Flour. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 10(7), 443-446. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.1125777>
- Sumnu, G., Koksel, F., Sahin, S., Basman, A., & Meda, V. (2010). The effects of xanthan and guar gums on staling of gluten-free rice cakes baked in different ovens. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(1), 87-93. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02107.x>
- Sun, D.-W. (2011). *Computer vision technology for food quality evaluation*: Academic Press.
- Tan, K., & Mittal, G. (2006). Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *International Journal of Food Properties*, 9(1), 85-98. doi:<https://doi.org/10.1080/10942910500473947>

- Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M., & Juszczak, L. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29(1), 68-74. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.02.009>
- Zolfaghari, Z. S. (2010). *Effect of Formulation, Perfrying Treatment on Physicochemical Properties of Donut and Application of Fuzzy Regression on Sensory Evaluation of Product*. (Unpublished master's thesis), Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mahhad, (in Persian),

The Effect of Xanthan, Guar and Transglutaminase on the Physicochemical and Textural Properties of Gluten-free Doughnut

Arezo Fazeli¹, Mostafa Mazaheri Tehrani^{2*}, Mahdi Karimi³, Alireza Sadeghian⁴,
Arash Koochaki²

- 1- PhD. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
- 2- Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
- *Corresponding author (mmtehrani@um.ac.ir)
- 3- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AEERO), Mashhad, Iran
- 4- Assistant Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

Abstract

The main objective of the current study was to optimize gluten free doughnuts formula for which the effect of xanthan, guar and Transglutaminase (TGase) enzyme were investigated. Xanthan, Guar and TGase were added from 0 to 2% of flour basis to the basic formula. Treatments were designed based on the mixture design of the Minitab software. The optimum conditions were selected based on the oil absorption, hardness, color, porosity and specific volume. The results showed that the high oil absorption occurred at the high level of TGase in absence of gums and the minimum oil absorption happened at the triple point. TGase caused cross linkage between rice flour protein, potato flour protein, and soy protein concentrate, which led to making protein network, xanthan gum, creating viscoelastic properties and guar gum, generating inter-surface properties, finally resulting in the increase of porosity and specific volume of doughnuts respectively. The interaction between the components showed that increasing the amount of guar gum improved the lightness of doughnuts. Texture parameters showed that samples with just gums without TGase showed the highest hardness. The synergistic effects of these gums increased viscosity. Hardness was decreased by protein network induced by TGase. The results of this study showed that the formula containing all three components could simulate the protein network in the gluten-free doughnut. The optimum point was 0.98% of xanthan, 0.44% of guar and 0.58% TGase which showed the best responds.

Keywords: Celiac, Doughnut, Gluten-free, Hydrocolloids, Transglutaminase

بررسی تأثیر جایگزینی آرد بلوط (کوئرکوس برانتی) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی همبرگر

وحیده سالارکریمی^۱، محمدجواد وریدی^{۲*}، مهدی وریدی^۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول (mjvaridi@um.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش، تأثیر جایگزینی آرد بلوط بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی همبرگر (۳۰ درصد گوشت) مورد بررسی قرار گرفت. سطوح آرد بلوط صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد بود که جایگزین آرد سوخاری موجود در فرمولاسیون شد. آرد بلوط تمامی ویژگی‌های پخت تیمارها شامل کاهش قطر، افزایش ضخامت، آفت پخت، چروکیدگی و ظرفیت حفظ چربی و نیز شاخص‌های بافت به‌جز چسبندگی را به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) بهبود بخشید. پارامترهای رنگ L^* و b^* نمونه‌های تیمار شده به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) بالاتر از نمونه شاهد بود. درحالی‌که شاخص a^* آنها کمتر به‌دست آمد. در ارزیابی حسی نمونه‌ها، همه تیمارهای آرد بلوط از لحاظ طعم، بافت، آبداربودن و پذیرش کلی امتیاز بالاتری در مقایسه با نمونه شاهد کسب کردند. اما از لحاظ شاخص رنگ، نمونه شاهد مطلوب‌تر بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده، با جایگزینی آرد بلوط در فرمولاسیون همبرگر، می‌توان تا حد قابل‌قبولی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی این فراورده را بهبود بخشید.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

واژه‌های کلیدی

آرد بلوط

ارزیابی حسی

فیزیکوشیمیایی

همبرگر

مقدمه

گوشت یکی از منابع مهم رژیم غذایی انسان‌ها بشمار می‌رود که به‌دلیل مواد مغذی بسیاری همچون پروتئین‌هایی باارزش بیولوژیکی بالا، روی، آهن، سلنیوم و ویتامین‌های گروه B_{12} ، نقش حیاتی در بهبود دستگاه گوارش انسان و نیز متعادل‌سازی رژیم غذایی افراد برعهده دارد. عموم مصرف‌کنندگان نیز، گوشت و محصولات گوشتی را به‌دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای و خواص حسی قابل‌توجه، ترجیح می‌دهند (Higgs, 2000). در تولید انواع محصولات گوشتی موادی چون پودر سوخاری، به‌عنوان یک ترکیب اتصال‌دهنده و افزودنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما امروزه برای تولید محصولات گوشتی سالم‌تر، تحقیق‌های زیادی در جهت به‌کارگیری اتصال‌دهنده‌ها و

افزودنی‌هایی با منابع مختلف گیاهی ازجمله آرد نخود، لوبیاچشم‌بلبلی و عدس، آرد ذرت، پوسته فندق، هویج و سیب‌زمینی صورت گرفته است (Gujral, Kaur, Singh, & Sodhi, 2002). استفاده از این مواد غیرگوشتی در تولید محصولات گوشتی، همچنین از عوامل مهم حفظ کیفیت، خواص تکنولوژیکی و تغذیه‌ای این محصولات، بشمار می‌آید. برخی از آنها مانند آرد جو، ظرفیت نگهداری آب و چربی را در محصولات گوشتی بهبود می‌بخشند (Serdaroglu, 2006). همچنین محصولاتی مانند سبوس و فیبر جو نیز در افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود احساس دهانی محصولات نقش عمده‌ای دارند (Giese, 1992). علاوه‌بر این به‌دلیل افزایش دامنه تقاضای مصرف‌کنندگان جهت تولید غذاهای فست‌فود سالم،

سالیانه مقادیر زیادی از این میوه، بدون استفاده مفید هدر می‌رود و نیز تقاضای مصرف‌کنندگان جهت تولید محصولات گوشتی سالم از جمله همبرگر روبه‌افزایش است، می‌توان با استفاده از ترکیب آرد بلوط در فرمولاسیون همبرگر، به بررسی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و حسی این فراورده تحت‌تأثیر این آرد، پرداخت.

مواد و روش‌ها

میوه‌های بلوط پس از جمع‌آوری از مناطق جنگلی شهرکرد خشک، و پس از پوست‌گیری با دستگاه آسیاب صنعتی با مش ۲۰ تبدیل به آرد شدند.

تولید همبرگر

نمونه‌های همبرگر (۳۰ درصد گوشت) در دو تکرار مستقل، طبق فرمولاسیون صنعتی (حاوی گوشت، پیاز، نمک، ادویه، گلوتن و آرد سوخاری)، تهیه و آرد بلوط با نسبت‌های صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد جایگزین آرد سوخاری موجود در فرمولاسیون گردید. پس از همگن‌سازی خمیر، نمونه‌هایی به وزن ۸۰ گرم و ضخامت ۱ سانتی‌متر از هر تیمار قالب‌زنی و پس از بسته‌بندی، در فریزر با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شد. آنالیزهای مربوطه ظرف مدت ۳ روز انجام گرفت.

آزمون‌ها

تعیین ویژگی‌های شیمیایی و عملکردی آرد بلوط

ترکیبات شیمیایی آرد بلوط شامل رطوبت، خاکستر، چربی، پروتئین و کربوهیدرات براساس روش‌های استاندارد ملی ایران (Institute of Standards and Industrial Research of Iran [ISIRI], 1992, 1994, 2011) تعیین شد. اندیس ظرفیت جذب آب و جذب روغن آرد بلوط نیز به روش Beuchat (۱۹۷۷) اندازه‌گیری شد. یک گرم از آرد بلوط (w)، داخل یک لوله سانتریفیوژ ریخته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر (v) روغن ذرت یا آب‌مقطر به آن اضافه گردید و به کمک دستگاه ورتکس (هایدولف ریکس کنترل، ساخت آلمان)، به مدت ۲ دقیقه مخلوط شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط قرار گرفتند و بعد از آن به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و فاز رویی (v_۱) (آب یا روغن)، جدا شد. ظرفیت جذب آب و روغن به‌صورت حجم آب یا

تلاش‌های زیادی در زمینه بهبود کیفیت و پایداری محصولاتی مانند همبرگر صورت گرفته است (Besbes, Attia, Deroanne, Makni, & Blecker, 2008).

درخت بلوط متعلق به خانواده *Fagaceae* و جنس *Quercus* است. محل رویش این درخت عمدتاً در اروپا، آفریقای شمالی، آمریکای شمالی، خاورمیانه و آسیا بوده و تا حدود سال ۱۹۰۰ میلادی غذای اصلی مردم این مناطق بشمار می‌رفت (Özcan, 2006). در ایران جنگل‌های بلوط به‌طور گسترده در نواحی غرب، جنوب غرب، شمال و شمال غرب رشد کرده و بیشترین تعداد این درختان در دامنه رشته کوه‌های زاگرس و در غرب دیده می‌شوند. مساحتی قریب ۳ یا ۴ میلیون هکتار از جنگل‌های غرب را، جنگل‌های بلوط اشغال کرده است (Sabeti, 1994). بیش از ۲۵ درصد از مصرف غذایی قشر فقیرنشین مردم ایتالیا و اسپانیا را میوه بلوط در اشکال مختلف نان، کیک و نیز به‌عنوان نوعی جایگزین قهوه تشکیل می‌دهد. در مناطقی همچون آمریکای شمالی و هند نیز میوه بلوط در تهیه غذاهایی مثل فرنی و حریره استفاده شده است. بنابراین بلوط به‌عنوان یک محصول با ترکیبات مشابه غلات، نقش مهمی در احیای سلامت افراد گرسنه و مبتلا به سوءتغذیه برعهده داشته است (Özcan, 2006). پس از گذشت قرن‌ها، در دهه‌های اخیر، بلوط مجدداً به‌دلیل کیفیت تغذیه‌ای و خواص سلامتی‌بخش بالقوه آن، موردتوجه مصرف‌کنندگان قرار گرفته است. میوه بلوط حاوی مقادیر بالایی از کربوهیدرات‌ها، اسیدهای چرب غیراشباع (۵۲/۶۶ درصد)، مواد معدنی (پتاسیم ۷۵۴/۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)، منیزیم ۷۴/۵۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)، آهن ۷/۳۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)، منگنز ۵/۳۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)، مس ۱/۸۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)، ویتامین‌های E (۱/۹ میلی‌گرم) و C (۱۵/۶ میلی‌گرم) و نیز مواد فیبری است (Borges, Gonçalves, de Carvalho, Correia, & Silva, 2008; Pereira-Lorenzo, Ramos-Cabrera, Díaz-Hernández, Ciordia-Ara, & Ríos-Mesa, 2006). به‌همین دلیل میوه بلوط و مشتقات آن برای تولید غذاهای انسانی و حیوانی و نیز اختلاط با بخشی از آردهای سیب‌زمینی، گندم، حبوبات و ذرت مناسب به نظر می‌رسند. همچنین در تهیه غذاهای مخصوص افراد مبتلا به برخی از بیماری‌ها و آلرژی‌ها نقش مهمی برعهده دارد (Borges, Soeiro Carvalho, Reis, Correia, & Paula Silva, 2007). بنابراین باتوجه‌به اینکه

آفت پخت، میزان چروکیدگی، درصد حفظ چربی^۱ و رطوبت^۲ نمونه‌ها به‌ترتیب از رابطه‌های (۴)، (۵)، (۶) و (۷) محاسبه گردید.

رابطه (۴)

$$\text{وزن بعد از پخت} - \text{وزن قبل از پخت} = \text{آفت پخت} \times 100$$

رابطه (۵)

$$= \text{چروکیدگی} \times 100 = \frac{(\text{قطر ثانویه} - \text{قطر اولیه}) + (\text{ضخامت ثانویه} - \text{ضخامت اولیه})}{\text{قطر اولیه} + \text{ضخامت اولیه}}$$

رابطه (۶)

$$\text{درصد چربی نمونه پخته} \times \text{وزن نمونه پخته} = \text{میزان حفظ چربی} \times 100$$

رابطه (۷)

$$\text{درصد رطوبت نمونه پخته} \times \text{وزن نمونه پخته} = \text{میزان حفظ رطوبت} \times 100$$

بررسی پارامترهای رنگ

برای تعیین پارامترهای رنگ (L^* ، a^* و b^*) نمونه‌های همبرگر قبل و بعد از پخت، از دستگاه رنگ‌سنج دیجیتال (مدل CR-410، شرکت مینولتا، ساخت ژاپن)، استفاده شد. L^* ، a^* و b^* به‌ترتیب بیانگر میزان روشنی، قرمزی و زردی نمونه‌ها می‌باشند. کالیبراسیون اولیه دستگاه از طریق کاشی استاندارد سفید ($L^*=98/14$ ، $a^*=-0/23$ و $b^*=1/89$) صورت گرفت.

بررسی پارامترهای بافت

نمونه‌های پخته‌شده به‌وسیله آزمون آنالیز پروفایل بافت^۳، در دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد به کمک دستگاه آنالیز بافت (Brookfield, QTS-25، ساخت آمریکا)، به روش AMSA (۱۹۹۵) تجزیه و تحلیل شدند. نمونه‌های پخته‌شده به شکل مکعب‌هایی با ابعاد (۱×۱×۱) بریده شده و تحت آزمون فشاری با دو سیکل رفت و برگشتی قرار گرفتند. برای این کار از پروبی با قطر ۵۵ میلی‌متر، با نیروی فشاری ۲۵ کیلوگرم و سرعت ۲۰ سانتی‌متر بر دقیقه، جهت فشرده‌سازی نمونه‌ها تا ۷۰ درصد ارتفاع

روغن جذب‌شده (میلی‌لیتر) توسط هر گرم آرد از رابطه (۱) محاسبه گردید.

رابطه (۱)

$$\text{ظرفیت جذب آب یا روغن} = \frac{(V0-V1)}{W}$$

ظرفیت نگهداری آب و روغن به روش Larrauri، Rupérez، Borroto و Saura-Calixto (۱۹۹۶) انجام گرفت. ۲۵ میلی‌لیتر آب یا روغن به ۱ گرم آرد اضافه شد و پس از مخلوط‌کردن به مدت ۱ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، در انکوباتور قرار گرفت. در مرحله بعد به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس فاز رویی جدا شده و بخش باقی‌مانده توزین می‌گردد. ظرفیت نگهداری آب و روغن از طریق گرم آب یا روغن در هر گرم ماده خشک محاسبه شد.

تعیین ترکیبات شیمیایی و pH

ترکیبات شیمیایی نمونه‌های همبرگر، با استفاده از روش‌های استاندارد ملی ایران (Institute of Standards and Industrial Research of Iran [ISIRI], 1973, 2002a, 2002b, 2003) اندازه‌گیری شدند. مقادیر pH نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پی‌اچ‌متر (Testo 230، ساخت آلمان) تعیین گردید.

تعیین ویژگی‌های پخت

نمونه‌های همبرگر با استفاده از آون (Memmert، ساخت آلمان) با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، تا رسیدن دمای مرکز نمونه‌ها به ۷۲ درجه سانتی‌گراد پخته شدند که زمان آن حدود ۵۰ دقیقه به‌دست آمد. دمای مرکز نمونه‌ها با استفاده از ترموکوپل دیجیتال اندازه‌گیری و تعیین شد (Sánchez-Zapata et al., 2010). نمونه‌ها پس از رسیدن به دمای محیط وزن و ضخامت و قطر آنها نیز با استفاده از کولیس دیجیتال، برای هر نمونه ۵ مرتبه اندازه‌گیری و سپس میانگین آنها لحاظ گردید. کاهش قطر و افزایش ضخامت از طریق رابطه‌های تجربی (۲) و (۳) محاسبه شد.

رابطه (۲)

$$\text{درصد کاهش قطر} = \frac{(\text{قطر پخته} - \text{قطر خام})}{\text{قطر خام}} \times 100$$

رابطه (۳)

$$\text{درصد افزایش ضخامت} = \frac{(\text{ضخامت پخته} - \text{ضخامت خام})}{\text{ضخامت خام}} \times 100$$

¹ Fat Retention

² Moisture Retention

³ Texture Profile Analysis

همان سیکل فشاری اول، قابل محاسبه خواهند بود.

ارزیابی حسی

دو تکرار هر فرمول جهت ارزیابی حسی (به کمک دستگاه آن در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد، به مدت ۵ دقیقه از هر رویه تا رسیدن دمای مرکز آنها به ۷۲ درجه سانتی گراد) پخته و توسط ۱۵ داور حسی سنجیده شد. نمونه‌ها به صورت تصادفی در اختیار شرکت کنندگان قرار گرفت و بین هر تیمار جهت افزایش دقت چشایی، به شرکت کنندگان آب داده شد. ارزیابی شامل رنگ^۸، طعم^۹، بافت^{۱۰}، آبداربودن^{۱۱} و پذیرش کلی^{۱۲} بود که به کمک طرح هدونیک ۵ نقطه‌ای از بسیار مطلوب تا بسیار نامطلوب انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با دو تکرار انجام شد و در نهایت نتایج حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه معنی داری تیمارها نیز به کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) انجام گرفت.

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی و خصوصیات عملکردی آرد بلوط به ترتیب در جدول (۱) و (۲)، آورده شده است.

اصلی خود استفاده شد (Sánchez-Zapata et al., 2010). پارامترهای مورد اندازه گیری بافت مطابق تعاریف Bourne (۱۹۷۸)، شامل این موارد هستند. سختی^۱ (بیشترین مقدار نیروی مورد نیاز جهت فشردن نمونه) برحسب نیوتن، انسجام^۲ (میزانی که نمونه می تواند قبل از شکستن تغییر شکل بدهد)، قابلیت ارتجاع^۳ (توانایی نمونه در به دست آوردن شکل اصلی خود پس از حذف نیروی تغییر شکل) برحسب میلی متر، صمغی بودن^۴ (نیروی لازم جهت از هم پاشیدن یک نمونه گوشت نیمه جامد آماده بلع) برحسب نیوتن، قابلیت جویدن^۵ (کار لازم برای جویدن نمونه جهت بلع) برحسب کیلوگرم در سانتی متر، چسبندگی^۶ (کار منفی بین دو چرخه فشاری) برحسب نیوتن در میلی متر، فنریت^۷ یا حالت ارتجاعی نیز برحسب میلی متر است. در نمودار بافت سنجی، پارامتر انسجام از تقسیم ناحیه کار زیر نمودار در طول فشردن سازی دوم بر ناحیه کار زیر نمودار در طول فشردن سازی اول، پارامتر قابلیت ارتجاع از طریق فاصله ارتفاع مشخص شده در طول سیکل فشردن سازی دوم بر این فاصله طی سیکل فشردن سازی اول، پارامتر صمغی بودن از حاصل ضرب سختی در انسجام، قابلیت جویدن از تقسیم ناحیه زیر نمودار قبل از پیک فشردن سازی دوم بر ناحیه زیر نمودار قبل از پیک فشردن سازی اول، پارامتر چسبندگی تحت عنوان کار منفی بین دو سیکل فشردن و در نهایت پارامتر فنریت از تقسیم انرژی حرکت صعودی نمودار در مرحله فشردن سازی اول بر انرژی حرکت نزولی نمودار در

جدول ۱- آنالیز ترکیبات شیمیایی آرد بلوط (درصد)

ویژگی شیمیایی	رطوبت	چربی	خاکستر	پروتئین	کربوهیدرات
ترکیب	۱۰/۳۵±۰/۰۱	۱/۴۹±۰/۲۰	۱/۹۰±۰/۰۴	۳/۴۶±۰/۱۰	۸۲/۸۰±۰/۳۰

جدول ۲- خصوصیات عملکردی آرد بلوط

ویژگی شیمیایی	جذب آب	جذب روغن	ظرفیت نگهداری آب	ظرفیت نگهداری روغن
ترکیب	(میلی لیتر بر گرم)	(میلی لیتر بر گرم)	(گرم بر گرم)	(گرم بر گرم)
۲/۹۲±۰/۰۳	۲/۴۱±۰/۰۲	۱/۴۰±۰/۱۰	۲/۱۶±۰/۴۰	

¹ Hardness

² Cohesiveness

³ Springiness

⁴ Gumminess

⁵ Chewiness

⁶ Adhesiveness

⁷ Resilience

⁸ Color

⁹ Flavor

¹⁰ Texture

¹¹ Juiciness

¹² Overall Accepting

خصوصیات عملکردی شامل جذب آب، جذب روغن، ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت نگهداری روغن برای آرد بلوط تعیین شد. همان‌طور که در جدول (۲)، قابل مشاهده است، دو پارامتر جذب آب و جذب روغن این آرد به ترتیب ۲/۹۲ و ۲/۴۱ میلی‌لیتر بر گرم به دست آمد. ظرفیت نگهداری روغن (۲/۱۶ گرم/گرم)، برای این آرد بالاتر از ظرفیت نگهداری آب (۱/۴۰ گرم/گرم)، به دست آمد. این خصوصیات ممکن است با چگالی بار کل و طبیعت آب‌دوستی مواد تشکیل‌دهنده مرتبط باشد (Elleuch et al., 2011). پارامتر جذب و نگهداری روغن یک فاکتور قابل اهمیت در محصولات گوشتی بشمار می‌رود و نقش مؤثری در قابلیت نگهداری عطر و طعم دارد. این فاکتور همچنین در محصولات گوشتی مانند همبرگر، منجر به کاهش چروکیدگی در حین پخت و نیز خروج عصاره به وسیلهٔ به دام انداختن چربی در ماتریکس خود، خواهد شد (Kinsella, 1979). موادی که توانایی بالایی در حفظ رطوبت و چربی در ماتریکس خود دارند، کاهش افت پخت را نیز به دنبال خواهند داشت (Besbes et al., 2008).

ترکیبات شیمیایی نمونه‌های همبرگر و pH

ترکیبات شیمیایی برگرهای فرموله‌شده با سطوح مختلف آرد بلوط به همراه مقادیر pH در جدول (۳)، نشان داده شده است. رطوبت و چربی بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) داشتند. اما برای خاکستر، پروتئین و کربوهیدرات هیچ تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) مشاهده نشد. با افزایش سطوح آرد بلوط، میزان رطوبت و چربی تیمارها افزایش پیدا کرد. به طوری که تیمار ۹ درصد آرد بلوط بالاترین میزان رطوبت و چربی را نشان داد. میزان رطوبت و چربی بالاتر مشاهده‌شده در تیمارهای حاوی آرد بلوط، به علت رطوبت و چربی بالاتر این آرد نسبت به آرد سوخاری است. این مقادیر در آرد سوخاری به ترتیب $6/90 \pm 0/30$ و $0/90 \pm 0/20$ درصد به دست آمد. در حالی که مطابق جدول (۱)، این دو مقدار برای آرد بلوط به ترتیب $10/35$ و $1/49$ درصد مشخص شد. Choi و همکاران (2010)، روند مشابهی را در این مورد، برای سوسیس‌های فرموله‌شده با پودر پوست بلوط مشاهده کردند.

جدول ۳- آنالیز ترکیبات شیمیایی و مقادیر pH همبرگرهای فرموله‌شده با درصد‌های مختلف آرد بلوط

پارامتر (درصد)	۰	۳	۶	۹
رطوبت	$51/94 \pm 0/3^c$	$52/36 \pm 0/2^c$	$53/71 \pm 0/4^b$	$54/59 \pm 0/2^a$
خاکستر	$2/70 \pm 0/10^a$	$2/69 \pm 0/10^a$	$2/52 \pm 0/10^a$	$2/38 \pm 0/20^a$
چربی	$15/71 \pm 0/02^b$	$15/76 \pm 0/02^b$	$16/05 \pm 0/20^{ab}$	$16/34 \pm 0/20^a$
پروتئین	$15/71 \pm 0/40^a$	$15/66 \pm 0/20^a$	$15/43 \pm 0/20^a$	$14/82 \pm 0/10^a$
کربوهیدرات	$13/97 \pm 0/20^a$	$13/52 \pm 0/10^a$	$12/48 \pm 0/50^a$	$12/36 \pm 0/70^a$
pH	$5/54 \pm 0/01^a$	$5/39 \pm 0/01^b$	$5/33 \pm 0/02^b$	$5/21 \pm 0/04^c$

میانگین دو تکرار $\pm$ انحراف استاندارد

نتایج هر سطر که دارای حروف غیرمشترک می‌باشند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) دارند.

برای آرد بلوط و آرد سوخاری در جدول (۴)، نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، علت روند به دست آمده مقدار پایین‌تر pH آرد بلوط نسبت به pH آرد سوخاری موجود در فرمولاسیون است.

جدول ۴- مقادیر pH برای آرد بلوط و سوخاری

پارامتر	آرد بلوط	آرد سوخاری
pH	$4/96 \pm 0/03$	$5/30 \pm 0/05$

میانگین دو تکرار $\pm$ انحراف استاندارد

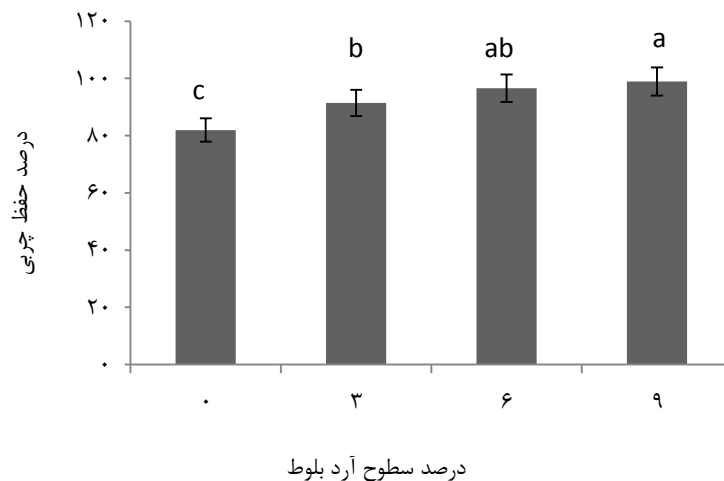
مقادیر به دست آمده برای pH، روند کاهشی معنی‌داری ($P < 0.05$) نشان داد. در واقع با افزایش سطوح آرد بلوط، pH کاهش یافت و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۹ درصد آرد بلوط بود. Choi و همکاران (2010)، مشابه این روند کاهشی را در سوسیس‌های فرموله‌شده با پودر پوست بلوط به دست آوردند. Kim, Park, Jeong و Kim (2006)، نیز این روند را در جایگزینی پودر پوست بلوط در نوعی محصول به نام تاکجو^۱ مشاهده کردند. مقادیر pH

¹ Takju

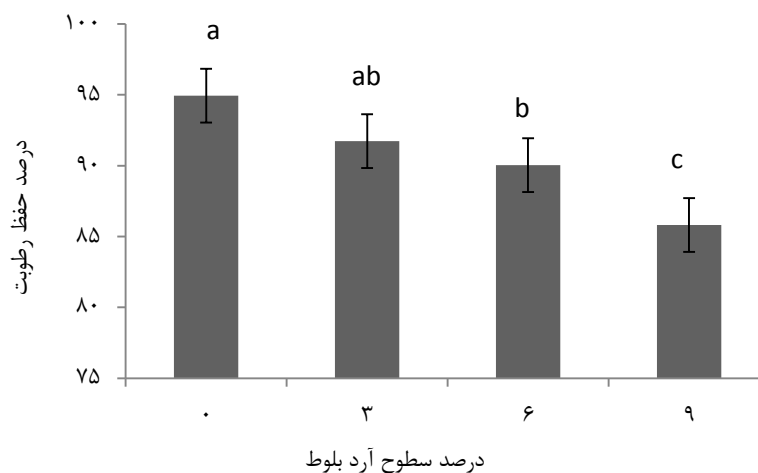
میزان حفظ چربی و رطوبت

شکل (۱) و (۲)، به ترتیب اثر سطوح آرد بلوط، بر شاخص‌های ظرفیت حفظ چربی و رطوبت در نمونه‌های همبرگر را نشان می‌دهد. تمامی تیمارها نسبت به نمونه شاهد، شاخص حفظ چربی بیشتر و شاخص حفظ رطوبت

کمتری نشان دادند. نمونه ۹ درصد آرد بلوط بیشترین میزان حفظ چربی و کمترین میزان حفظ رطوبت را در بین تیمارها داشت. این دو شاخص به توانایی ماتریکس پروتئین در حفظ چربی و رطوبت محصورشده، مربوط است (Besbes et al., 2008).



شکل ۱- تأثیر افزودن سطوح آرد بلوط بر شاخص ظرفیت نگهداری چربی همبرگر
نتایج با حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).



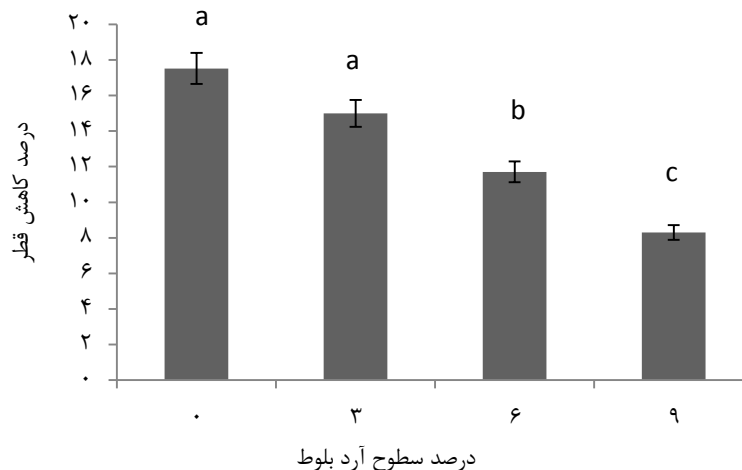
شکل ۲- تأثیر افزودن سطوح آرد بلوط بر شاخص ظرفیت نگهداری رطوبت همبرگر
نتایج با حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

Kurt و Kilincceker (۲۰۱۲)، در بررسی پاتی‌های گوشت فرموله‌شده با آرد غلات و حبوبات، مشاهده کردند که استفاده از آرد غلات و حبوبات منجر به افزایش شاخص‌های حفظ چربی و رطوبت در پاتی‌های گوشت گردید. مطالعه‌ها ثابت کردند هرچه ظرفیت حفظ چربی نمونه‌ای بیشتر باشد، ظرفیت حفظ رطوبت آن کمتر است.

زیرا حضور ترکیبات آب‌گریز، در دسترس قرارگرفتن ترکیبات آب‌دوست جهت به‌دام‌انداختن آنها در شبکه پروتئینی را محدود می‌کند (Heywood, Myers, Bailey, & Johnson, 2002). بنابراین با توجه به مطالب گفته‌شده، ظرفیت بالای حفظ چربی تیمارهای حاوی آرد بلوط و ظرفیت پایین حفظ رطوبت آنها قابل توجیه است.

کاهش قطر و افزایش ضخامت

نمونه‌های شاهد بیشترین میزان کاهش قطر را پس از پخت نسبت به تیمارهای حاوی آرد بلوط نشان دادند. همان‌طور که شکل (۳)، نشان می‌دهد، افزودن آرد بلوط به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) باعث کاهش این شاخص شد و کمترین میزان آن نیز مربوط به تیمار ۹ درصد آرد بلوط

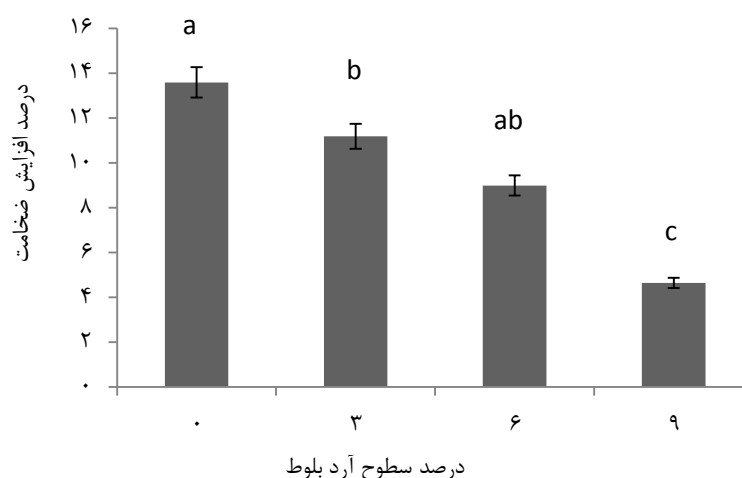


شکل ۳- تأثیر افزودن سطوح آرد بلوط بر کاهش قطر همبرگر

نتایج با حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

می‌تواند مرتبط با قابلیت مناسب اتصال چربی به آرد بلوط باشد که تغییر شکل محصول را در زمان پخت محدود می‌کند. Besbes و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی اثر جایگزینی بخشی از گوشت برگر با فیبر گندم و نخود به این نتیجه رسیدند که دو فیبر یادشده نیز با افزایش ظرفیت نگهداری چربی بر شاخص افزایش ضخامت تأثیر مثبتی داشتند.

نتایج تأثیر جایگزینی آرد بلوط بر افزایش ضخامت نمونه‌ها در شکل (۴)، نشان داده شده است. افزودن آرد بلوط به‌دلیل ظرفیت نگهداری بالا در حفظ چربی، در کاهش این شاخص تأثیر به‌سزایی داشت. با افزایش درصد آرد بلوط، میزان افزایش ضخامت به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش پیدا کرد. به‌گونه‌ای که تیمار ۹ درصد آرد بلوط کمترین افزایش ضخامت را نشان داد که این



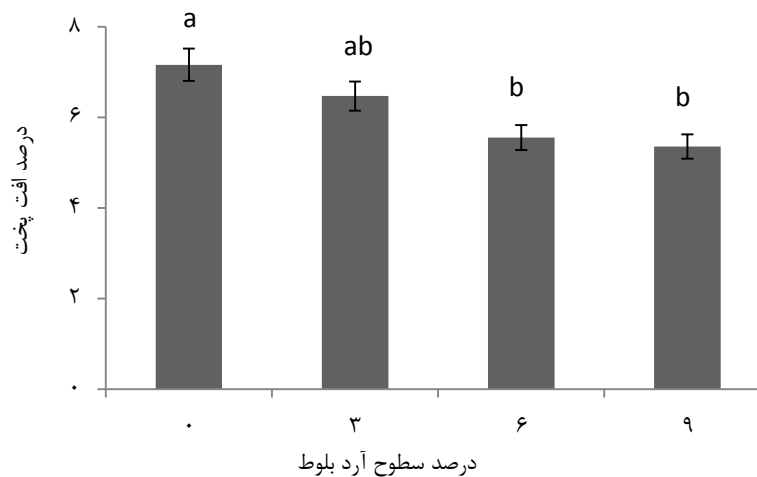
شکل ۴- تأثیر افزودن سطوح آرد بلوط بر افزایش ضخامت همبرگر

نتایج با حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

اُفت پخت و چروکیدگی

تأثیر جایگزینی آرد بلوط بر اُفت پخت در شکل (۵)، مشخص شده است. همانند دو شاخص کاهش قطر و افزایش ضخامت، برگره‌های شاهد بیشترین میزان اُفت پخت را نشان دادند. در واقع با جایگزینی آرد بلوط و افزایش درصد جایگزینی، اُفت پخت به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش پیدا کرد و تیمار ۹ درصد آرد بلوط،

کمترین میزان اُفت پخت را نشان داد. در این رابطه نتایج مشابهی توسط Choi و همکاران (۲۰۱۰) برای سوسیس‌های فرموله‌شده با پودر پوست بلوط مشاهده شد. همچنین این نتیجه با نتایج به‌دست‌آمده توسط Teye و همکاران (۲۰۱۲)، که به بررسی اثر آرد لوبیاچشم‌بلبلی بر همبرگر گوشت گاو و خوک پرداخته‌اند، هماهنگ بود.

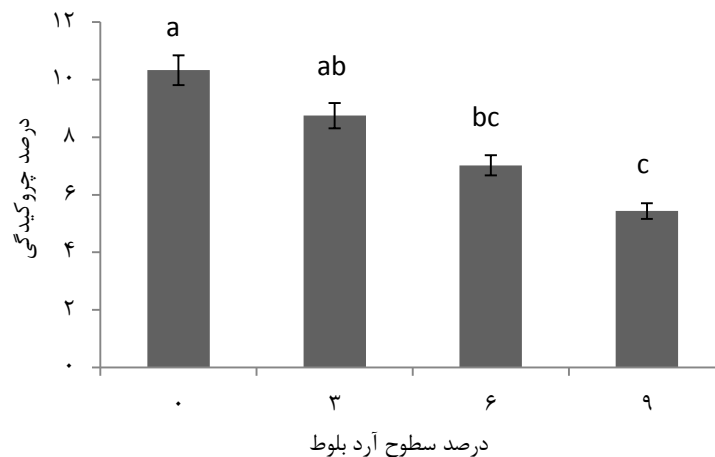


شکل ۵- تأثیر افزودن سطوح آرد بلوط بر میزان اُفت پخت همبرگر

نتایج با حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

استفاده از پرکننده‌ها در محصولات گوشتی، ظرفیت نگهداری آب و چربی را در این محصولات بهبود بخشیده و در نتیجه منجر به کاهش چروکیدگی و افزایش بازده پخت خواهند شد (Sheridan et al., 1991). علاوه بر این محتوای نشاسته و پروتئین غلات و حبوبات، در نگهداری چربی و آب محصولات گوشتی پخته‌شده مؤثر خواهند بود (Talukder & Sharma, 2010; Ziegler & Acton, 1984). آرد بلوط نیز باتوجه به ظرفیت حفظ چربی بالایی که از خود نشان داد (آزمون حفظ چربی)، در حین پخت از خروج عصاره گوشت جلوگیری کرد و به‌طور معنی‌داری باعث کاهش اُفت پخت در نمونه‌های همبرگر شد. این نتیجه می‌تواند توضیح مناسبی برای چروکیدگی کمتر

تیمارهای حاوی آرد بلوط نسبت به نمونه شاهد نیز باشد. مطالعه‌ها بیانگر آن است که بین اُفت پخت و چروکیدگی یک همبستگی مثبت وجود دارد. در واقع افزایش میزان اُفت پخت ممکن است منجر به افزایش میزان چروکیدگی شود و بالعکس (Du & Sun, 2005). بنابراین باتوجه به اُفت پخت بالاتر نمونه‌های شاهد نسبت به تیمارهای حاوی آرد بلوط، چروکیدگی بالاتر آنها نیز قابل توجیه خواهد بود. استفاده از آرد بلوط هم‌زمان با کاهش شاخص چروکیدگی از افزایش ضخامت محصول نیز نسبت به آرد سوخاری جلوگیری نمود. تأثیر سطوح آرد بلوط بر چروکیدگی در شکل (۶)، نشان داده شده است.



شکل ۶- تأثیر افزودن سطوح آرد بلوط بر میزان چروکیدگی همبرگر
نتایج با حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

پارامترهای رنگ

پارامترهای رنگ برای نمونه‌های خام و پخته در جدول (۵)، نشان داده شده است. آرد بلوط، تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر شاخص‌های رنگ‌سنجی L^* ، a^* و b^* داشت. با افزودن آرد بلوط به فرمولاسیون نمونه‌ها، دو شاخص L^* و b^* در مقایسه با نمونه شاهد، کاهش و شاخص a^*

افزایش پیدا کرد. تیمارهای فرموله‌شده با آرد بلوط نسبت به نمونه شاهد، مقادیر کمتری از روشنی را نشان دادند. مطالعه‌ها نشان داده است که روشنی در محصولات گوشتی به عواملی همچون ظرفیت نگهداری رطوبت، محتوای چربی و آب آزاد بستگی دارد (Georgantelis, 2007; Blekas, Katikou, Ambrosiadis, & Fletouris, 2007).

جدول ۵- آنالیز پارامترهای رنگ نمونه‌های خام و پخته همبرگرهای فرموله‌شده با درصدهای مختلف آرد بلوط

پارامتر	سطوح جایگزینی آرد بلوط			
	۰	۳	۶	۹
خام				
L^*	56.72 ± 0.97^a	48.90 ± 2.56^b	48.99 ± 2.31^b	49.62 ± 2.11^b
a^*	8.10 ± 0.14^b	9.21 ± 0.04^a	9.54 ± 0.34^a	9.14 ± 0.55^a
b^*	19.53 ± 0.63^a	14.64 ± 0.27^c	15.45 ± 0.29^b	16.04 ± 0.47^b
پخته				
L^*	43.43 ± 1.48^a	35.89 ± 0.56^b	36.20 ± 0.12^b	34.98 ± 2.30^b
a^*	10.30 ± 0.23^b	10.43 ± 0.06^b	11.11 ± 0.19^a	10.55 ± 0.04^b
b^*	19.33 ± 0.24^a	12.04 ± 0.02^c	13.26 ± 0.14^b	12.56 ± 0.68^{bc}

میانگین دو تکرار $\pm$ انحراف استاندارد

نتایج هر سطر که دارای حروف غیرمشترک می‌باشند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) دارند.

تیمارهای حاوی آرد بلوط به دلیل محتوای پایین‌تر رطوبت نسبت به نمونه شاهد، میزان روشنی کمتری داشتند. علاوه بر این رنگ تیره‌تر آرد بلوط با میزان شاخص روشنی کمتر از آرد سوخاری استفاده‌شده نیز می‌تواند در این امر دخیل باشد (جدول ۶). پارامترهای رنگ برای آرد بلوط و آرد سوخاری استفاده‌شده در فرمولاسیون در جدول (۶)، آورده شده است. مقادیر روشنی نمونه‌های پخته نسبت به نمونه‌های خام کمتر به دست آمد. این امر

می‌تواند به دلیل تغییر در شکل میوگلوبین و افت رطوبتی باشد که در حین پخت اتفاق می‌افتد و منجر به تیرگی بیشتر رنگ نمونه‌ها خواهد شد. انجام واکنش مایلارد در حین حرارت‌دادن نیز می‌تواند در این پدیده دخیل باشد (Hunt et al., 1991). شاخص a^* در برگرهای خام و پخته فرموله‌شده با آرد بلوط افزایش قابل‌توجهی نسبت به نمونه شاهد داشت که این مقادیر در نمونه‌های پخته‌شده بیشتر بود. دلیل این امر

فنولیک روند کندتری از فرایند اکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه مقادیر بالاتری از قرمزی را داشته‌اند. با جایگزینی آرد بلوط، کاهش قابل‌توجهی در شاخص b^* نسبت به نمونه شاهد، هم در نمونه‌های خام و هم در نمونه‌های پخته دیده شد. در واقع نمونه شاهد به دلیل حضور آرد سوخاری که رنگی متمایل به زرد دارد، نسبت به تیمارهای حاوی آرد بلوط با ظاهر رنگی تیره‌تر (جدول ۶)، مقدار بیشتری از این شاخص را نشان داد.

می‌تواند حضور ترکیبات فنولیک در آرد بلوط باشد (Sáyago-Ayerdi, Brenes, & Goñi, 2009). در واقع بین شاخص قرمزی و اکسیداسیون رابطه معکوسی وجود دارد. بدین‌صورت که با افزایش میزان اکسیداسیون چربی‌ها میزان شاخص قرمزی کاهش پیدا می‌کند و بالعکس (Aleson-Carbonell, Fernández-López, Pérez-, 2005). بنابراین چنین به نظر می‌رسد که نمونه‌های حاوی آرد بلوط، به دلیل حضور ترکیبات

جدول ۶- پارامترهای رنگی آرد بلوط و آرد سوخاری استفاده شده در فرمولاسیون

پارامتر	آرد بلوط	آرد سوخاری
L^*	67.31 ± 0.30	85.34 ± 0.20
a^*	6.01 ± 0.08	1.22 ± 0.01
b^*	21.06 ± 0.05	23.27 ± 0.03

میانگین دو تکرار $\pm$ انحراف استاندارد

خصوصیات بافتی

جدول (۷)، تأثیر افزودن آرد بلوط بر ویژگی‌های بافتی برگر را نشان می‌دهد. آرد بلوط بر همه ویژگی‌های سختی، قابلیت ارتجاع، انسجام، قابلیت جویدن، خاصیت صمغی و فنریت نمونه‌ها مؤثر بود و به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) باعث کاهش تمامی آنها شد. اما تأثیر آن بر شاخص چسبندگی معنی‌دار نبود. تیمار ۹ درصد آرد بلوط کمترین مقدار را برای همه شاخص‌ها نشان داد.

از آنجایی که تیمار ۹ درصد آرد بلوط بالاترین ظرفیت حفظ چربی را داشت، این امر می‌تواند کمک مؤثری در کاهش سختی آن داشته باشد. تحقیق‌ها نشان داده است

که بین میزان چربی و سختی محصولات گوشتی، رابطه عکس وجود دارد (Gregg, Claus, Hackney, & Marriot, 1993). حضور ترکیبات فنولیک نیز می‌تواند به دلیل مهار فرایند اکسیداسیون پروتئین‌ها در طول مدت ذخیره‌سازی، در کاهش سختی تأثیرگذار باشد (Kuliev & Poletaeva, 1982). نتایج تعدادی از مطالعه‌ها بیانگر آن بوده که محتوای چربی محصولات گوشتی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص قابلیت ارتجاع و انسجام داشته باشد. در واقع در سطوح پایین‌تر چربی، مقادیر بالاتری از این شاخص‌ها دیده می‌شود (Troutt et al., 1992).

جدول ۷- آنالیز پارامترهای بافت همبرگرهای فرموله‌شده با درصدهای مختلف آرد بلوط

پارامتر	سطوح جایگزینی آرد بلوط			
	۰	۳	۶	۹
سختی (نیوتن)	3.23 ± 0.29^a	2.88 ± 0.11^a	2.12 ± 0.11^b	1.82 ± 0.10^b
قابلیت ارتجاع (میلی‌متر)	0.60 ± 0.07^a	0.53 ± 0.03^{ab}	0.47 ± 0.01^b	0.42 ± 0.00^b
انسجام (بدون بُعد)	0.54 ± 0.04^a	0.48 ± 0.04^{ab}	0.43 ± 0.01^b	0.39 ± 0.01^b
قابلیت جویدن (کیلوگرم در سانتی‌متر)	$10.4/88 \pm 3/60^a$	$10.3/69 \pm 8/47^a$	$6.9/47 \pm 13/14^b$	$6.3/55 \pm 6/30^b$
صمغی‌بودن (نیوتن)	$1/80 \pm 0.03^a$	$1/71 \pm 0.03^a$	$1/50 \pm 0.04^b$	$1/13 \pm 0.06^c$
فنریت (میلی‌متر)	0.24 ± 0.03^a	0.17 ± 0.00^b	0.14 ± 0.01^b	0.12 ± 0.01^b
چسبندگی (نیوتن در میلی‌متر)	-0.70 ± 0.03^a	-0.45 ± 0.22^a	-0.34 ± 0.29^a	-0.23 ± 0.08^a

میانگین دو تکرار $\pm$ انحراف استاندارد.

نتایج هر سطر که دارای حروف غیرمشترک می‌باشند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) دارند.

مقایسه با نمونه شاهد بودند.

ارزیابی حسی

نتایج حاصل از ارزیابی حسی در جدول (۸)، نشان داده شده است. ظاهر و رنگ ازجمله ویژگی‌های مهم در انتخاب مشتری هستند. بافت نیز نقش مهمی در تعیین کیفیت فراورده‌های گوشتی دارد. امتیازهای ارزیابی حسی توسط داوران حسی نشان داد که افزودن آرد بلوط به نمونه‌های همبرگر باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) در امتیازهای طعم، بافت، آبداربودن و پذیرش کلی نمونه‌ها شد. بالاتر بودن امتیاز آبداری را می‌توان به قابلیت بالاتر تیمارهای حاوی آرد بلوط در حفظ چربی طی پخت نسبت داد. زیرا آرد بلوط به دلیل جلوگیری از خروج عصاره گوشت در حین پخت، منجر به ایجاد بافتی نرم‌تر و آبدارتر، در تیمارهای فرموله شده با آرد بلوط پس از پخت شد. داده‌های به‌دست‌آمده از آزمون بافت نیز با نتایج حاصل از آزمون حسی مطابقت داشت. نمونه شاهد که بیشترین میزان سختی را در آزمون بافت نشان داد، در آزمون حسی نیز از لحاظ شاخص بافت، کمترین امتیاز را کسب کرد. Jaime و Rovira, Ordóñez (۲۰۰۱)، نیز به این نتیجه رسیدند که سطوح چربی در فرانکفورت‌ها^۲ با آبداری این فراورده همبستگی مثبتی داشتند. از آنجاکه چربی نقش مهمی در بافت فراورده‌های گوشتی دارد، مقادیر پایین چربی، کاهش امتیاز بافت را به دنبال دارد. از این‌رو فراورده‌های گوشتی کم‌چرب معمولاً سفت‌تر از فراورده‌هایی است که میزان چربی آنها بالاتر هستند (Ahmed, Miller, Lyon, Vaughters, & Reagan, 1990;) (Serdaroglu & Ozsumer, 2003).

در همین‌راستا Berry, Joseph و Stanfield (۱۹۹۶) و نیز Troutt و همکاران (۱۹۹۲)، به این نتیجه رسیدند که کاهش میزان چربی در فراورده‌های گوشتی، باعث کاهش شدت طعم آنها نیز خواهد شد. تیمارهای فرموله شده با آرد بلوط از لحاظ شاخص رنگ، امتیاز کمتری نسبت به نمونه شاهد دریافت کردند. در مجموع تیمار ۳ درصد آرد بلوط بیشترین پذیرش کلی را در بین تیمارهای مختلف داشت.

Berry و Leddy (۱۹۸۴)، گزارش دادند که افزایش محتوای چربی در پاتی‌های گوشت منجر به بافت نرم‌تر آنها شد. همچنین Gujral و همکاران (۲۰۰۲)، نشان دادند که چربی تأثیر معنی‌داری بر خاصیت صمغی‌بودن و قابلیت جویدن پاتی‌های گوشت بزرگ خام دارد. در مواد گوشتی حرارت‌دیده با مواد افزودنی اضافه‌شده، پس از فرایند حرارت‌دهی، در پی افزایش ساختار صفحه‌بنا^۱، ساختار مارپیچ آلفا^۲ کاهش پیدا کرد و همبستگی معنی‌داری بین این تغییرات ساختاری ثانویه در بافت گوشت و قابلیت اتصال به چربی و آب و خصوصیات بافتی محصولات گوشتی مشخص شد (Gujral et al., 2002). بنابراین باتوجه به ظرفیت حفظ چربی بالای به‌دست‌آمده برای همبرگرهای حاوی آرد بلوط، مقادیر پایین‌تر قابلیت ارتجاع و انسجام نیز برای آنها قابل توجیه است. همچنین کاهش معنی‌دار شاخص قابلیت جویدن که با شاخص سختی در ارتباط است، در تیمارهای حاوی آرد بلوط، نشان‌دهنده نرم‌تر شدن نمونه‌ها و در نتیجه کاهش نیروی لازم برای عمل جویدن است. این نیز می‌تواند مرتبط با میزان بالاتر ظرفیت حفظ چربی تیمارهای حاوی آرد بلوط باشد.

Lorenzo, González-Rodríguez, Sánchez, Amado و Franco (۲۰۱۳)، در بررسی اثر عصاره بلوط بر نوعی سوسیس خشک، نتایج مشابهی در این خصوص، به‌دست آوردند. مطالعه‌ها نشان دادند که بین شاخص چروکیدگی و ویژگی‌های بافتی همبستگی مثبتی وجود دارد (Du & Sun, 2005). میزان آب و چربی در گوشت، به‌طور قابل‌توجهی کیفیت فراورده‌های گوشتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زمانی که آب و چربی در نمونه‌ای کاهش پیدا کرده و منجر به چروکیدگی می‌شود، پارامترهای سختی، انسجام، قابلیت ارتجاع، خاصیت صمغی‌بودن و نیز قابلیت جویدن افزایش پیدا می‌کنند (Du & Sun, 2005). در این مطالعه نیز بین چروکیدگی با فاکتورهای انسجام، قابلیت ارتجاع و قابلیت جویدن (به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۷۰۸، ۰/۷۳۴ و ۰/۶۳۸) ارتباط معنی‌داری ($P < 0.05$) مشاهده شد. تیمارهای حاوی آرد بلوط به علت چروکیدگی کمتر نسبت به نمونه شاهد، دارای مقادیر پایین‌تری از این شاخص‌ها، در

¹ Beta Sheet

² Alpha Helical

³ Frankfurter

جدول ۸- نتایج به دست آمده از ارزیابی حسی همبرگرهای فرموله شده با آرد بلوط

پارامتر	سطوح جایگزینی آرد بلوط			
	۹	۶	۳	۰
رنگ	۲/۷۱±۰/۰۳ ^c	۲/۶۲±۰/۰۱ ^d	۲/۹۵±۰/۰۳ ^b	۳/۱۸±۰/۰۳ ^a
طعم	۳/۲۲±۰/۰۲ ^b	۳/۲۴±۰/۰۱ ^b	۳/۴۰±۰/۰۲ ^a	۲/۸۶±۰/۰۸ ^c
بافت	۳/۳۷±۰/۰۲ ^b	۳/۴۰±۰/۰۲ ^b	۳/۵۵±۰/۰۲ ^a	۲/۸۹±۰/۰۴ ^c
آبداربودن	۳/۵۰±۰/۰۴ ^b	۳/۶۴±۰/۰۴ ^a	۳/۶۳±۰/۰۲ ^a	۳/۱۸±۰/۰۳ ^c
پذیرش کلی	۳/۳۴±۰/۰۵ ^b	۳/۴۴±۰/۰۲ ^{ab}	۳/۵۵±۰/۰۲ ^a	۳/۰۵±۰/۰۷ ^c

میانگین دو تکرار ± انحراف استاندارد

نتایج هر سطر که دارای حروف غیرمشترک می باشند، از لحاظ آماری اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) دارند.

نتیجه گیری

درصد جایگزینی آرد بلوط بود. تنها شاخص رنگ نمونه های فرموله شده با آرد بلوط، امتیاز کمتری نسبت به نمونه شاهد گرفت. بنابراین براساس نتایج به دست آمده، می توان با جایگزینی آرد بلوط در فرمولاسیون همبرگر، ضمن تولید محصولی سالم، ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی این فراورده را نیز تا حد زیادی بهبود بخشید.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کارخانه پاک جمع مشهد و جناب آقای مهندس میراحمدی برای تأمین نمونه خمیر همبرگر، جهت انجام این تحقیق سپاسگزاری می گردد.

جایگزینی آرد بلوط در فرمولاسیون همبرگر، شاخص های کاهش قطر و افزایش ضخامت را به مقدار زیادی کاهش داد و علاوه بر آن تأثیر به سزایی در به حداقل رساندن افت پخت و چروکیدگی داشت. همچنین تیمارهای فرموله شده با آرد بلوط، ظرفیت حفظ چربی بالایی داشتند. تیمارها از لحاظ ویژگی های بافتی نیز قابل قبول بوده و همگی در مقایسه با نمونه شاهد بهبود پیدا کردند. نتایج ارزیابی حسی نیز نشان داد که امتیاز شاخص های طعم، بافت، آبداربودن و پذیرش کلی تمامی تیمارها نسبت به نمونه شاهد بالاتر و بیشترین این امتیازها مربوط به تیمار ۳

منابع

- Ahmed, P., Miller, M., Lyon, C., Vaughters, H., & Reagan, J. (1990). Physical and sensory characteristics of low-fat fresh pork sausage processed with various levels of added water. *Journal of Food Science*, 55(3), 625-628. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb05192.x>
- Aleson-Carbonell, L., Fernández-López, J., Pérez-Alvarez, J., & Kuri, V. (2005). Characteristics of beef burger as influenced by various types of lemon albedo. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(2), 247-255. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.01.002>
- AMSA. (1995). *Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of fresh meat*: American meat Science Association in cooperation with National Live Stock and Meat Board, 48-65.
- Berry, B., Joseph, R., & Stanfield, M. (1996). Use of electrical stimulation, hot processing and carrageenan for processing low-fat ground beef patties. *Meat Science*, 42(1), 111-123. doi:[https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00008-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00008-9)
- Berry, B., & Leddy, K. (1984). Effects of fat level and cooking method on sensory and textural properties of ground beef patties. *Journal of Food Science*, 49(3), 870-875. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13231.x>
- Besbes, S., Attia, H., Deroanne, C., Makni, S & ,Blecker, C. (2008). Partial replacement of meat by pea fiber and wheat fiber: effect on the chemical composition, cooking characteristics and sensory properties of beef burgers. *Journal of Food Quality*, 31(4), 480-489. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2008.00213.x>

- Besbes, S., Ghorbel, R., Salah, R. B., Masmoudi, M., Jedidi, F., Attia, H., & Blecker, C. (2010). Date Fiber Concentrate: Chemical Compositions, Functional Properties and Effect on Quality Characteristics of Beef Burgers. *Journal of Food & Drug Analysis*, 18(1), 8-14 .
- Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 258-261. doi:<https://doi.org/10.1021/jf60210a044>
- Borges, O., Gonçalves, B., de Carvalho, J. L. S., Correia, P., & Silva, A. P. (2008). Nutritional quality of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivars from Portugal. *Food Chemistry*, 106(3), 976-984. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.011>
- Borges, O. P., Soeiro Carvalho, J., Reis Correia, P., & Paula Silva, A. (2007). Lipid and fatty acid profiles of *Castanea sativa* Mill. Chestnuts of 17 native Portuguese cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(2), 80-89. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.07.008>
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32(72), 62-66 .
- Choi, Y.-S., Choi, J.-H., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Kim, H.-W., . . . Kim, C.-J. (2010). Effects of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) peel powder on quality characteristics of chicken emulsion sausages. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 30(5), 755-763. doi:<https://doi.org/10.5851/kosfa.2010.30.5.755>
- Du, C. J., & Sun, D. W. (2005). Correlating shrinkage with yield, water content and texture of pork ham by computer vision. *Journal of Food Process Engineering*, 28(3), 219-232. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2005.00408.x>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411-421. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Georgantelis, D., Blekas, G., Katikou, P., Ambrosiadis, J., & Fletouris, D. J. (2007). Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on lipid oxidation and colour stability during frozen storage of beef burgers. *Meat Science*, 75(2), 256-264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.07.018>
- Giese, J. (1992). Developing low-fat meat products. *Food Technology (USA)*, 46(4), 100-108 .
- Gregg, L., Claus, J., Hackney, C., & Marriott, N. (1993). Low-fat, high added water bologna from massaged, minced batter. *Journal of Food Science*, 58(2), 259-264. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04251.x>
- Gujral, H. S., Kaur, A., Singh, N., & Sodhi, N. S. (2002). Effect of liquid whole egg, fat and textured soy protein on the textural and cooking properties of raw and baked patties from goat meat. *Journal of Food Engineering*, 53(4), 377-385. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00180-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00180-7)
- Heywood, A., Myers, D., Bailey, T., & Johnson, L. (2002). Functional properties of low-fat soy flour produced by an extrusion-exPELLing system. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(12), 1249. doi:<https://doi.org/10.1007/s11746-002-0635-y>
- Higgs, J. D. (2000). The changing nature of red meat: 20 years of improving nutritional quality. *Trends in Food Science & Technology*, 11(3), 85-95. doi:[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00055-8)
- Hunt, M., Acton, J., Benedict, R., Calkins, C., Cornforth, D., Jeremiah, L., . . . Shivas, S. (1991). *Guidelines for meat color evaluation*. Chicago: American Meat Science Association and National Live Stock and Meat Board, 9-12.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (1973). Meat and meat products, measuring the total protein (ISIRI Standard No. 924). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=6935> (in Persian)
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (1992). Cereals and its products, Measurement of the moisture content, references method (ISIRI Standard No. 2705). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=46619> (in Persian)
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (1994). Measurement method of the crude protein of cereals and its products (ISIRI Standard No. 2863). Retrieved from <http://www.isiri.gov.ir/portal/files/std/2863.htm> (in Persian)

- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2002a). Meat and meat products - Determination of Moisture content - (Refrence method) (ISIRI Standard No. 745). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=37661> (in Persian)
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2002b). Meat and meat products - Method for determining the total ash content - test method (ISIRI Standard No. 744 (revised)). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=5551> (in Persian)
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2003). Meat and meat products - measuring the moisture the free fat content, test method (ISIRI Standard No. 743). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=13511> (in Persian)
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2011). Wheat flour, characteristics and test methods (ISIRI Standard No. 103). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=51318> (in Persian)
- Jeong, J.-W., Park, K.-J., Kim, M.-H., & Kim, D.-S. (2006). Quality characteristics of Takju fermentation by addition of chestnut peel powder. *Korean Journal of Food Preservation*, 13(3), 329-336 .
- Kinsella, J. E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56(3Part1), 242-258. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02671468>
- Kuliev, V., & Poletaeva, L. (1982). Polysaccharides of the fruit of *Crataegus orientalis*. *Chemistry of Natural Compounds*, 18(5), 612-613. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00575054>
- Kurt, Ş., & Kilincceker, O. (2012). The effects of cereal and legume flours on the quality characteristics of beef patties. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(5), 725-730. doi:<https://doi.org/10.9775/kvfd.2011.6013>
- Larrauri, J. A., Rupérez, P., Borroto, B., & Saura-Calixto, F. (1996). Mango peels as a new tropical fibre: preparation and characterization. *LWT-Food Science and Technology*, 29(8), 729-733. doi:<https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0113>
- Lorenzo, J. M., González-Rodríguez, R. M., Sánchez, M., Amado, I. R., & Franco, D. (2013). Effects of natural (grape seed and chestnut extract) and synthetic antioxidants (buthylatedhydroxytoluene, BHT) on the physical, chemical, microbiological and sensory characteristics of dry cured sausage “chorizo”. *Food Research International*, 54(1), 611-620. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.064>
- Ordóñez, M., Rovira, J., & Jaime, I. (2001). The relationship between the composition and texture of conventional and low-fat frankfurters. *International journal of food science & technology*, 36(7), 749-758. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00525.x>
- Özcan, T. (2006). Total protein and amino acid compositions in the acorns of Turkish *Quercus L.* taxa. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53(2), 419-429. doi:<https://doi.org/10.1007/s10722-004-1337-3>
- Pereira-Lorenzo, S., Ramos-Cabrer, A. M., Díaz-Hernández, M., Ciordia-Ara, M., & Ríos-Mesa, D. (2006). Chemical composition of chestnut cultivars from Spain. *Scientia Horticulturae*, 107(3), 306-314. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005-08-008>
- Sabeti, H. (1994). *Forests, trees and shrubs of Iran. (2nd edition)*: Yazd university.
- Sánchez-Zapata, E., Muñoz, C., Fuentes, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., . . . Pérez-Alvarez, J. (2010). Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*, 85(1), 70-76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.006>
- Sáyago-Ayerdi, S., Brenes, A., & Goñi, I. (2009). Effect of grape antioxidant dietary fiber on the lipid oxidation of raw and cooked chicken hamburgers. *LWT-Food Science and Technology*, 42(5), 971-976. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.006>
- Serdaroglu, M. (2006). The characteristics of beef patties containing different levels of fat and oat flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(2), 147-153. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01041.x>
- Serdaroglu, M., & Ozsumer, M. (2003). Effects of soy protein, whey powder and wheat gluten on quality characteristics of cooked beef sausages formulated with 5, 10 and 20% fat. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 6(2), 3 .

- Sheridan, J., Allen, P., Ziegler, J., Marinkov, M., Suvakov, M., & Heinz, G. (1991). *Guidelines for slaughtering, meat cutting and further processing*: FAO.
- Talukder, S., & Sharma, D. (2010). Development of dietary fiber rich chicken meat patties using wheat and oat bran. *Journal of food science and technology*, 47(2), 224-229. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-010-0027-z>
- Teye, G., Teye, M., & Boamah, G. (2012). The effect of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour as an extender on the physico-chemical properties of beef and ham burgers. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 12(7), 7019-7034 .
- Troutt, E., Hunt, M., Johnson, D., Claus, J., Kastner, C., Kropf, D., & Stroda, S. (1992). Chemical, physical, and sensory characterization of ground beef containing 5 to 30 percent fat. *Journal of Food Science*, 57(1), 25-29. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05416.x>
- Ziegler, G., & Acton, J. (1984). Mechanisms of gel formation by proteins of muscle tissue. *Food Technology*, 38(5), 77-82 .

The Effect of Chestnut (*Quercus Brantii*) Flour Substitution on the Physicochemical and Sensory Properties of Burgers

Vahideh Salarkarimi¹, Mohammad Javad Varidi^{2*}, Mehdi Varidi²

1- MSc. Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

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

* Corresponding author (mjvaridi@um.ac.ir)

Abstract

In this study, the effect of chestnut flour substitution on the physicochemical and sensory properties of burger (30% meat) was investigated. Chestnut flour levels were 0, 3, 6 and 9% that were replaced with toasted flour in the formulation. Chestnut flour improved all the treatments cooking characteristics significantly ($P<0.05$) including diameter reduction, thickness increase, cooking loss, shrinkage and fat retention capacity and also texture indices except adhesiveness. The color parameters of L^* and b^* of the treated sample were significantly ($P<0.05$) higher than control sample whereas its a^* was lower. In samples sensory analysis, all of chestnut flour treatments got higher scores compared to control sample in terms of flavor, texture, juiciness and overall accepting. But the control sample was more favorable in terms of color index. According to the obtained results, with chestnut flour replacement in the formulation of burgers, physicochemical and sensory characteristics of this product can improve acceptably.

Keywords: Burger, Chestnut flour, Physicochemical Properties, Sensory Evaluation

تولید و ارزیابی نانولیپوزوم‌های حامل پپتیدهای زیست‌فعال به‌دست‌آمده از ضایعات ماهی با استفاده از آنزیم آلکالاز

شیرین حسنی^۱، مصطفی شهیدی نوقابی^{۲*}، سیدمهدی اجاق^۳

- ۱- دانش‌آموخته دکتری فراآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول: مصطفی شهیدی نوقابی (m.shahidi@rifst.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه فراآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

واژه‌های کلیدی

پپتید زیست‌فعال
رهایش
فعالیت آنتی‌اکسیدانی کیتوزان
نانولیپوزوم

در سال‌های اخیر مطالعه‌های متعددی روی تولید پپتیدهای زیست‌فعال از ضایعات ماهی، به‌واسطهٔ اثرات مفید آن بر سلامتی انسان، متمرکز شده است. لیکن تولید پپتیدهای زیست‌فعال نیازمند روش‌های محافظتی می‌باشد تا علاوه بر افزایش پایداری در محیط گوارش و جذب فعال، منجر به رهایش کنترل‌شده و بهینه‌سازی تأثیر آن طی مصرف گردد. تحقیق حاضر با هدف ایجاد یک سیستم نانولیپوزومی فسفولیپیدی خوراکی حامل پپتیدهای زیست‌فعال حاصل از پروتئین هیدرولیزشده (FPH) ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) توسط آنزیم آلکالاز با پوشش کیتوزان (غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۵ درصد وزنی/حجمی) انجام گرفت. نتایج نشان داد کیتوزان تا حد زیادی سبب بهبود پایداری در نانولیپوزوم گردید. میانگین اندازه ذرات نانولیپوزوم‌ها در محدودهٔ ۳۳۹ تا ۴۵۹ نانومتر با پتانسیل زتای ۵۱/۷- تا ۵۰+ میلی‌ولت و شاخص پراکندگی (PDI) ۰/۳۸۸ تا ۰/۴۸۷ قرار داشت. مقادیر راندمان ریزپوشانی به‌طور قابل‌توجهی مؤثر از تغییرات غلظت کیتوزان در پوشش بود و حدکثر راندمان ریزپوشانی ($86 \pm 2/65$ درصد) در نانولیپوزوم حامل با پوشش ۰/۵ درصد کیتوزان مشاهده شد. بررسی میزان رهایش پپتید در محیط‌های شبیه‌سازی‌شدهٔ معده و روده حاکی از تأثیر پوشش بر افزایش پایداری پپتیدها در محیط‌های بیولوژیکی شبیه‌سازی‌شده بود. همچنین ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌وسیلهٔ آزمون‌های دی‌فنیل-۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) و ۲،۲-آزینوبیس (۳- اتیل‌بنزوتیازولین-۶- سولفونیک اسید (ABTS) بیانگر وجود فعالیت بالای مهارکنندگی رادیکال در نانولیپوزوم‌های حامل پپتید در نمونه‌های با پوشش کیتوزان و فاقد پوشش بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد ریزپوشانی پپتیدهای زیست‌فعال در حامل لیپوزومی می‌تواند رویکردی مفید در جهت کاربرد مستقیم پپتیدها با قابلیت آنتی‌اکسیدانی در فراورده‌های غذایی باشد.

مقدمه

ساختاری هستند که می‌توانند به جهت دارابودن اثرات ضدباکتری، ضداکسیداسیونی، ضدسرطان، کاهش فشارخون بالا، تحریک‌کنندهٔ سیستم ایمنی و کاهش

منابع دریایی با تولید حجم بالایی از ضایعات و تولیدات جانبی منبع غنی و ارزشمند از ترکیبات زیست‌فعال

اکسیداتیو از خود نشان می‌دهند (Lassoued et al., 2015; Nalinanon, Benjakul, Kishimura, & Shahidi, 2011; Razali, Amin, & Sarbon, 2015; Vignesh, 2011; Haq, Devanathan, & Srinivasan, 2011). اغلب پپتیدهای آنتی‌اکسیدانی که تاکنون شناسایی شده‌اند کوتاه‌زنجیره و حاوی آمینواسیدهای هیدروفوب^۳ در توالی خود هستند. آنها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به تخلیه رادیکال‌های آزاد کمک می‌کنند؛ زیرا زنجیره‌های جانبی فنولی آنها به‌عنوان اهداکنندگان الکترونی قوی عمل می‌کنند؛ به‌این‌ترتیب امکان خاتمه واکنش زنجیره‌ای رادیکال آزاد را فراهم می‌آورند (Picot et al., 2010). Centenaro و همکاران (۲۰۱۴) پیشنهاد کردند که وجود آمینواسیدهای گوگرددار و هیدروفوب بیشتر باعث افزایش حلالیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. برای تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی FPH، دو یا چند سیستم رادیکال برای تجزیه و تحلیل مورد نیاز است (Centenaro et al., 2014). در تحقیق حاضر از روش‌های اندازه‌گیری مهار رادیکال آزاد دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH^۴) و ۲،۲-آزینوبیس (۳-اتیل‌بنزوتیازولین-۶-سولفونیک اسید (ABTS^۵)) برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی پپتیدهای زیست‌فعال استخراج‌شده و نانولیپوزوم‌های حامل پپتید استفاده شد.

Jahandideh, Chakrabarti و Wu (۲۰۱۴) به بررسی خواص ضدالتهابی مواد غذایی حاوی پپتیدها ازجمله پروتئین هیدرولیزشده ماهی پرداختند. آنها دریافتند پپتیدهای به‌دست‌آمده باعث ایجاد فعالیت‌های بیولوژیک دیگری همچون واکنش‌های فیزیولوژیکی ضد میکروبی، فارماکولوژیک و ایمنولوژیک می‌شوند (Danquah & Agyei, 2012). پپتیدهای زیست‌فعال بایستی در طول هضم و جذب، قبل از ورود به جریان خون برای اعمال اثرات فیزیولوژیک خود، فعال باقی بمانند (Segura-Campos, Chel-Guerrero, Betancur-Ancona, & Hernandez-Escalante, 2011). پپتیدهای زیست‌فعال ممکن است در شرایط اسیدی معده و در حضور آنزیم‌های پروتئولیتیک معده و روده، دناوره‌شده و به پپتیدهای کوچک تجزیه شوند. تلخی ناخوشایند پپتیدهای آب‌گریز و همچنین موانع ذکرشده سبب محدودیت استفاده از این

کلیسترول خون در تولید محصولات غذایی فراسودمند برای ارتقاء سطح سلامت مصرف‌کننده و بهبود ماندگاری محصولات غذایی و یا در صنعت دارو مورد استفاده قرار گیرند. اگر این ترکیبات بیولوژیکی به نحو مطلوب مورد استفاده قرار گیرند، از یک‌سو باعث کاهش آلودگی زیست‌محیطی ناشی از دور ریختن آنها شده و از سوی دیگر به لحاظ داشتن پروتئین‌های باارزش قابل بازیافت می‌باشند. امروزه مطالعه‌های بسیاری با هدف تولید پپتیدهای زیست‌فعال از پروتئین هیدرولیزشده ماهی (FPH^۱) برای تولید فراورده‌ای باارزش افزوده بالا متمرکز شده است (Galla, Pamidighantam, Akula, & Karakala, 2012; Nasri et al., 2013).

هیدرولیز آنزیمی مؤثرترین و مرسوم‌ترین روش هیدرولیز پروتئین است که از طریق افزودن آنزیم‌های متعدد مانند آلکالاز، پاپاین، پیپسین، تریپسین، آلفا-کیموتریپسین، پانکراتین، فلاورزایم، پروناز، نیتراز، پروتامکس، بروملاین، پروتئاز N، پروتئاز A، ترمولایزین و والیداز به‌منظور بازیابی پپتیدهای زیست‌فعال قوی می‌باشد (Chalamaiah, Hemalatha, & Jyothirmayi, 2012). تحقیق‌های زیادی درخصوص هیدرولیز آنزیمی قسمت‌های مختلف ماهی با استفاده از آنزیم‌های تجاری انجام گرفته است. باتوجه‌به مطالعه‌های آنزیم‌های با منشأ میکروبی نسبت به سایر آنزیم‌ها، دارای مزایای بیشتری هستند که از آن جمله می‌توان به پایداری بیشتر در حرارت و pH های بالا و همچنین خصوصیات مناسب پروتئولیتیکی^۲ اشاره نمود (Diniz & Martin, 1996). آنزیم آلکالاز با داشتن هزینه نسبتاً پایین در میان سایر آنزیم‌ها، قابلیت بسیار بالایی در هضم منابع پروتئینی از خود نشان داده است. پروتئین هیدرولیزه ماهی در طیف وسیعی از pH های مختلف دارای حلالیت مناسبی می‌باشد و معمولاً حرارت زیادی را بدون ایجاد رسوب تحمل می‌کند. به‌علاوه، سبب بهبود خواص بافت، امولسیون‌کنندگی، کف‌کنندگی، ظرفیت نگهداری آب و پایداری فراورده‌های غذایی می‌گردند (Taheri, Sabeena Farvin, Jacobsen, & Baron, 2014). پپتیدهای مشتق‌شده از پروتئین‌های ماهی با استفاده از تکنیک هیدرولیز آنزیمی، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی قابل‌توجهی را در سیستم‌های مختلف

³ Hydrophobic Amino Acids⁴ Diphenyl-1-picrylhydrazyl⁵ 2,2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6 sulfonic acid)¹ Fish Protein Hydrolysate² Proteolytically

مواد انکپسوله‌شده به نواحی هدف می‌شوند. همچنین دارای پایداری کلونیدی بالاتر بوده و کدورت کمتری ایجاد می‌کنند (Rasti, Jinap, Mozafari, & Yazid, 2012). با این وجود، سیستم‌های تحویل مبتنی بر لیپید، به دلیل کم ثباتی، در محیط اسیدی نمک‌های صفراوی و لیپاز معده مناسب نمی‌باشند (Page & Cudmore, 2001). استفاده از سیستم‌های پلیمری چسبنده مخاطی مانند کیتوزان، مهم‌ترین گام در جهت افزایش تحویل لیپوزومی پپتیدهای زیست‌فعال به شکل خوراکی می‌باشد. به طوری که ثبات حامل لیپوزومی و راندمان جذب در دستگاه گوارش می‌تواند تا حدود زیادی توسط یک لایه پوشش کیتوزانی افزایش یابد که می‌توان به اتصال کیتوزان و لیپوزوم از طریق واکنش‌های الکترواستاتیک بین گروه‌های کاتیونی کیتوزان و گروه‌های فسفولیپید آنیونی نسبت داد. لذا با توجه به میزان زیاد ضایعات ماهی در کشور و همچنین وجود پتانسیل بالقوه تولید فراورده‌هایی با ارزش افزوده از این مواد، هدف از این پژوهش، بررسی امکان تولید و ارزیابی نانولیپوزوم‌های حامل پپتیدهای زیست‌فعال با خاصیت آنتی‌اکسیدانی برای غلبه بر چالش‌های موجود در مسیر استفاده از این ترکیبات ارزشمند در صنایع غذایی و دارویی، مورد توجه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

برای هیدرولیز آنزیمی امعاواحشا ماهی کپور معمولی^۵ از آنزیم آلکالاز (فعالیت ۲/۴ واحد آنسون بر گرم) گرفته شده از باکتری *باسیلوس لیکنی فورمیس*^۶ استفاده شد. آنزیم آلکالاز از شرکت سیگما آلدردیج خریداری و تا انجام آزمایش‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. هیدروکسید سدیم، کیتوزان با وزن مولکولی متوسط (درجه داستیلاسیون ۷۵-۸۵ درصد)، سرم آلبومین گاوی^۷، معرف DPPH و ABTS، اسید آسکوربیک، پپسین و اسید هیدروکلریک از شرکت مرک آلمان خریداری شد. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش از درجه آزمایشگاهی برخوردار بودند.

تهیه پروتئین هیدرولیز شده ماهی

امعاواحشا ماهی کپور معمولی از سد وشمگیر واقع در ۴۰

ترکیبات در محصولات غذایی می‌گردد (Segura-Campos et al., 2011). امروزه انواع روش‌های خوراکی مانند افزودن انواع بازدارنده‌های پروتئاز و سایر اصلاحات شیمیایی برای محافظت از پپتیدهای بیولوژیک در برابر تخریب اسیدی و آنزیمی دستگاه گوارش، بازدهی بالای جذب در مخاط اپیتلیوم^۱ و همچنین بهبود زیست‌پذیری پپتیدهای فعال خوراکی طراحی شده‌اند (Rekha & Sharma, 2011). با این وجود بازدارنده‌های آنزیمی اثرات جانبی زیان‌آوری را در درازمدت ایجاد می‌کنند. هنگامی که فعالیت آنزیم روده مهار گردد و عمل هضم به تأخیر افتد، در نتیجه مکانیسم بازخورد، آنزیم‌ها توسط پانکراس بیش‌ازپیش تولید خواهد شد که منجر به هیپرتروفی پانکراس^۲ و هیپرپلازی^۳ می‌شود (Rekha & Sharma, 2011).

لذا در این راستا استفاده از تکنیک ریزپوشانی، روشی عملی برای محافظت از پپتیدهای زیست‌فعال در برابر هضم با استفاده از پوشش و تشکیل کپسول است. درون‌پوشانی، تکنولوژی به‌دام‌انداختن مواد جامد، مایع یا گازی در کپسول‌هایی که محتویات خود را در سرعت‌های کنترل‌شده و تحت شرایط ویژه آزاد می‌کنند، می‌باشد که شامل مراحل تشکیل دیواره اطراف ترکیب زیست‌فعال، اطمینان از عدم نشت این ترکیبات به بیرون و عدم پوشش ترکیبات نامطلوب در کپسول است. یکی از انواع حامل‌های لیپیدی که برای درون‌پوشانی مواد زیست‌فعال و غذا دارو استفاده می‌شود، لیپوزوم‌ها می‌باشند. لیپوزوم‌ها وزیکول‌های کلونیدی متشکل از لیپیدهای قطبی به‌ویژه فسفولیپیدها بوده که در حضور مولکول‌های آب، ساختارهای کروی دولایه‌ای را ایجاد می‌کنند (Ghorbanzade, Jafari, Akhavan, & Hadavi, 2017).

این ترکیبات به دلیل خاصیت دوگانه‌دوست^۴، توانایی کپسوله‌کردن طیف وسیعی از ترکیبات آب‌دوست، چربی‌دوست و آمفی‌فیل را دارند. لیپوزوم‌ها و نانولیپوزوم‌ها اگرچه خصوصیات ساختاری، شیمیایی و ترمودینامیک یکسان دارند اما نانولیپوزوم‌ها در مقایسه با لیپوزوم‌ها، به علت اندازه ذرات کوچک‌تر، ناحیه سطحی بیشتری را فراهم کرده و باعث افزایش حلالیت، بهبود قابلیت دسترسی زیستی، رهایش کنترل‌شده و تحویل دقیق‌تر

¹ Epithelium

² Pancreatic Hypertrophy

³ Hyperplasia

⁴ Amphiphilic

⁵ Cyprinus Carpio

⁶ *Bacillus Licheniformis*

⁷ Bovine Serum Albumin

آزمایش $43/5 \pm 0/21$ درصد اندازه‌گیری شد.

تهیه نانولیپوزوم‌های حامل پپتیدهای زیست‌فعال

پروتئین هیدرولیز شده برای رسیدن به پپتیدهای با وزن مولکولی کمتر از ۳ کیلودالتون از اولترافیلتراسیون (Darmstadt, Merck KGaA, Millipore, EMD, آلمان) عبور داده شد. سپس برای تهیه نانولیپوزوم‌های حامل پپتید، هیدرولیز پروتئین (۱۰ میلی‌گرم/میلی‌لیتر) و فسفولیپید/کلسترول در آب مقطر هیدراته شده و با گلیسرول تا دمای ۶۰-۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. pH مخلوط توسط هیدروکسید سدیم ۲ مولار و حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد با تکان دادن مداوم به مدت ۱ ساعت توسط شیکر به ۷/۳ رسانده شد. لیپوزوم‌های خام، تحت فشار بالا هموژن شده و با نسبت‌های متفاوتی (۰/۵، ۰/۱ و ۰/۵ درصد وزنی/حجمی) از محلول کیتوزان (محلول کیتوزان با حل شدن کیتوزان در اسید استیک ۱ درصد (وزنی/وزنی) تهیه می‌گردد) در دمای اتاق به مدت ۱ ساعت با دور ۲۰۰ دور بر دقیقه مخلوط گردید. محلول لیپوزومی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با سونیکاتور با پروب ۲۰۰ یو.بی.اس تحت سونیکاسیون قرار گرفت. نانولیپوزوم‌ها در دمای محیط تحت گاز نیتروژن قرار گرفته و برای مراحل بعدی آزمایش نگهداری شد (Rasti et al., 2012).

ارزیابی خصوصیات فیزیکی نانولیپوزوم‌های حامل پپتید

اندازه ذره و تعیین توزیع اندازه ذره‌ای (PDI^4)

اندازه ذره‌ای و توزیع اندازه ذره‌ای لیپوزوم‌ها پس از رقیق کردن نمونه به میزان ۱۰ برابر با بافر به روش تفرق نور پویا^۵ توسط دستگاه زتاسایزر (Malven, Nano ZS, ساخت انگلستان) انجام گردید.

تعیین پتانسیل زتای سطح لیپوزوم‌ها

در مطالعه حاضر، اندازه‌گیری پتانسیل زتای سطح لیپوزوم‌ها توسط دستگاه زتاسایزر انجام شد. لیپوزوم‌ها توسط بافر فسفات (pH=۷/۴، ۵۰ میلی‌مولار) به میزان ۱۰ برابر رقیق شده و ارزیابی در زاویه پراکنش ۱۷۳ درجه سانتی‌گراد و طول موج هلیوم-تنگستن ۶۳۳ نانومتر و در دمای اتاق صورت گرفت.

کیلومتری شهرستان گرگان تهیه و توسط دستگاه چرخ‌گوشت کاملاً مخلوط گردید. سپس به منظور غیرفعال نمودن آنزیم‌های داخلی، نمونه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. امعاوحشا توسط محلول بافر فسفات با نسبت ۲:۱ (وزنی:حجمی) رقیق و به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط مخلوط شدند. سپس برای رسیدن به pH بهینه برای فعالیت آنزیم با هیدروکسید سدیم ۰/۲ نرمال مخلوط به pH برابر ۸/۵ رسانده شد. برای تهیه FPH، عمل هیدرولیز در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۵۰ گرم از نمونه در دستگاه انکوباتور متحرک (Comecta، ساخت اسپانیا) با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. آنزیم آلکالاز (۲/۴ واحد آنسون به ازای ۱ میلی‌لیتر آنزیم) به نمونه‌ها به نسبت ۱ درصد وزن مخلوط اضافه گردید. در انتهای آزمایش با هدف قطع واکنش‌های آنزیمی، نمونه‌ها در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. نمونه‌ها بعد از رسیدن به دمای اتاق توسط سانتریفیوژ (Hermle Labrotechnich GmbH z206a، ساخت آلمان) به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در ۸۰۰۰×g سانتریفیوژ و مایع روماند^۱ جمع‌آوری گردید (Ovissipour et al., 2009).

اندازه‌گیری درجه هیدرولیزاسیون (DH درصد)

میزان هیدرولیز (DH^2) در نمونه با تری‌کلرواستیک اسید (TCA^3) ۲۰ درصد (حجمی/حجمی) طبق روش Ovissipour و همکاران (۲۰۰۹) مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور محلول پروتئینی با حجم یکسان با محلول TCA کاملاً مخلوط و به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با دور ۶۷۰۰×g سانتریفیوژ شد. سپس غلظت پروتئین محلول در تری‌کلرواستیک اسید ۱۰ درصد به روش بیورت تعیین گردید. درجه هیدرولیز (DH) طبق رابطه (۱) محاسبه گردید.

رابطه (۱)

$$DH (\%) = \frac{\text{نیتروژن محلول در نمونه } 10\% \text{ TCA} - \text{نیتروژن کل نمونه}}{\text{نیتروژن کل نمونه}}$$

در رابطه (۱)، میزان هیدرولیز (DH) در نمونه‌های مورد

¹ supernatant

² Degree of Hydrolysis

³ Trichloroacetic Acid

⁴ Particle Dispersity Index

⁵ Dynamic Light Scattering

با غلظت متفاوت کیتوزان در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده SGF و SIF آنکوباسیون شدند (Agrawal, Harde, 2013). برای آماده‌سازی محیط معده ۱۰۰ میلی‌گرم پپسین در ۵ میلی‌لیتر آب مقطر حاوی ۰/۳۵ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک غلیظ حل شد. سپس ۱۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم به محلول اضافه گردید. حجم نهایی محلول توسط آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. pH نهایی محلول با استفاده از اسید هیدروکلریک غلیظ به ۱/۲ تنظیم گردید. آماده‌کردن محیط روده با حل نمودن ۳۴۰ میلی‌گرم از پتاسیم فسفات مونوبازیک^۵ در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر انجام گرفت. سپس ۴ میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید سدیم ۰/۲ مولار و ۵۰۰ میلی‌گرم پانکراتین به محلول تهیه‌شده افزوده شد. حجم نهایی محلول به ۵۰ میلی‌لیتر و PH نهایی به ۶/۸ رسانده شد. برای انجام آزمایش ۲۰ میکرولیتر از نمونه نانولیپوزوم‌های فاقد پوشش و پوشش‌دهی‌شده با کیتوزان تا رسیدن به حجم ۱ میلی‌لیتر رقیق‌شده و در تیوب‌های میکروسانتریفیوژ با هر دو محلول شبیه‌سازی‌شده توسط ترمومیکسر (مدل 300.16 RO, Gerhardt, ساخت آلمان) به‌طور مداوم آنکوبه شدند. مدت زمانی آنکوباسیون برای محیط SGF، ۴ ساعت و محیط SIF، ۲ ساعت در نظر گرفته شد. در فواصل زمانی موردنظر در هر دو محیط مقادیر FPH براساس روش اندازه‌گیری پروتئین با کیت BCA اندازه‌گیری گردید.

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نانولیپوزوم‌های حامل پپتید

فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH
ظرفیت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH در نمونه‌ها طبق روش Taheri و همکاران (۲۰۱۴) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد. قبل از انجام آزمایش نانولیپوزوم‌ها به مدت ۵ دقیقه به‌منظور رهایش پپتیدها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس ۲ میلی‌لیتر از نمونه با ۲ میلی‌لیتر از DPPH ۰/۱۶ میلی‌مولار (محلول در اتانول ۹۵ درصد) مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق تاریک قرار داده شدند و در انتها میزان جذب محلول حاصل در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری گردید. نمونه شاهد نیز به روش مشابه تهیه و

تعیین راندمان ریزپوشانی نانولیپوزوم‌ها (EE^۱ درصد)

بررسی راندمان ریزپوشانی طبق روش Li (۲۰۱۴) با اندکی تغییر انجام گرفت. به‌طور خلاصه، در این روش راندمان ریزپوشانی ازطریق محاسبه نسبت FPH کپسوله‌شده به FPH آزاد با استفاده از کیت سنجش پروتئین (BCA^۲) (Waltham, Thermo Scientific, MA, ساخت آمریکا) ارزیابی شد. بدین‌ترتیب میزان پپتید آزاد (غیرکپسوله) اندازه‌گیری و با اختلاف FPH کل و FPH آزاد، مقادیر FPH کپسوله‌شده محاسبه گردید. این روش براساس واکنش احیای Cu²⁺ به Cu¹⁺ توسط پروتئین در محیط قلیایی و تکنیک رنگ‌سنجی انجام می‌شود. بدین‌منظور ۱ میلی‌لیتر از نانولیپوزوم‌های پوشش‌دهی‌شده با کیتوزان به مدت ۱۰ دقیقه با ۸۰۰۰ دور بر دقیقه، سانتریفیوژ و مایع رویی جمع‌آوری گردید (Channarong, 2011, Chaicumpa, Sinchaipanid, & Mitrevej). درخصوص نانولیپوزوم‌های فاقد پوشش نیز، نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در ۴۰۰۰۰ دور بر دقیقه، سانتریفیوژ (Hitachi, CP100WX, ساخت ژاپن)، سپس مایع رویی جمع‌آوری گردید (Liu, Liu, 2015, Zhu, Gan, & Le).

در ادامه ۰/۵ میلی‌لیتر از مایع روماند با استفاده از اولترافیلتراسیون فیلتر و بدین‌ترتیب FPH کپسوله‌نشده و کیتوزان آزاد جدا گردید. ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه با معرف BCA به نسبت ۲۰:۱ مخلوط‌شده و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق قبل از قرائت میزان جذب در ۵۶۲ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (مدل UV-VIS 6800, Jenway, کشور آلمان) قرار داده شد. لیپوزوم‌های خام تهیه‌شده (فاقد FPH) سانتریفیوژ و فیلتر شدند و به‌عنوان شاهد در اسپکتروفتومتر مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر FPH که توسط عمل سانتریفیوژ و شست‌وشو حذف نگردیدند، کاملاً در داخل نانولیپوزوم‌ها کپسوله شده بودند.

رهایش FPH در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده معده (SGF^۳) و روده (SIF^۴)

به‌منظور ارزیابی پایداری و اثرات محافظتی پوشش کیتوزان، نانولیپوزوم‌های فاقد پوشش و پوشش‌دهی‌شده

¹ Encapsulation Efficiency

² Bicinchoninic Acid

³ Simulated Gastric Fluid

⁴ Simulated Intestinal Fluid

⁵ Potassium Phosphate Monobasic

نتایج و بحث

ارزیابی خصوصیات فیزیکی نانولیپوزوم‌های حامل پپتید اندازه ذره و تعیین توزیع اندازه ذره (PDI)

اندازه ذرات یک عامل مهم و اثرگذار بر میزان پایداری، راندمان ریزپوشانی و رهایش ترکیبات زیست‌فعال می‌باشد. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود میانگین اندازه ذرات لیپوزوم‌های تهیه‌شده با سونیکاسیون میله‌ای حدود $334/5$ تا $459/1$ نانومتر و دارای شاخص پراکندگی در محدوده $0/387$ تا $0/484$ بود که نشان‌دهنده اندازه ذره مناسب و یکنواختی توزیع ذرات است و با نتایج Rasti و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. نتایج نشان داد نانولیپوزوم‌های حامل پپتید پوشش‌دهی شده با کیتوزان، اندازه‌ای کوچک‌تر از نانولیپوزوم‌های فاقد پوشش داشتند. به‌طوری‌که با افزایش غلظت کیتوزان، اندازه ذرات روندی کاهشی را نشان داد (جدول ۱). Da Boelter, Da Silva, Brandelli و Silveira (۲۰۱۴) میانگین اندازه ذرات نانولیپوزوم‌های فسفاتیدیل کولین حاوی پپتیدهای ضد میکروبی را 150 نانومتر و همچنین Hosseini, Ramezanzade و Nikkhah (۲۰۱۷) نیز اندازه ذرات لیپوزوم‌های تولیدشده را $131/5$ نانومتر گزارش نمودند که همسو با نتایج تحقیق حاضر بود. Bang و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود علت کاهش در اندازه لیپوزوم‌ها را با افزودن مقادیر بالای کیتوزان، به‌دلیل نیروی انقباض ناشی از مقاومت یونی بین لیپوزوم‌های بارگذاری‌شده و پوشش‌دهی‌شده با کیتوزان بیان کردند به‌طوری‌که با افزایش غلظت کیتوزان، نیروی انقباضی رشدیافته و منجر به کاهش بیشتر در اندازه ذرات می‌گردد (Bang et al., 2011). طبق مطالعه‌های صورت‌گرفته، اندازه ذرات نانولیپوزوم‌ها در تحقیق حاضر به‌منظور به‌کارگیری در صنایع غذایی و دارویی مناسب گزارش می‌شود (Wu et al., 2015). با توجه به اثرات اندازه ذرات بر میزان پایداری و همچنین ظرفیت آزادسازی ترکیبات محصورشده در هسته، این شاخص بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق نتایج مرتبط با اندازه ذرات نانولیپوزوم‌ها با کارهای مشابه انجام‌شده توسط Duan, Zhang و Zhuang (۲۰۱۲) و همچنین Ghorbanzade و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت و اندک تفاوت مشاهده در نتایج می‌تواند به‌دلیل تفاوت در زمان سونیکاسیون و همچنین ترکیبات شرکت‌کننده در دیسپرسیون باشد.

اتانول ۹۵ درصد جایگزین نمونه قرار گرفت. منحنی استاندارد با استفاده از BHT در محدوده صفر تا 500 میکروگرم بر میلی‌لیتر آماده شد. در آزمون حاضر اسید آسکوربیک به‌عنوان کنترل مثبت در نظر گرفته شد. فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد با رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$100 \times \frac{\text{جذب شاهد} - \text{جذب نمونه}}{\text{جذب شاهد}} = \text{فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد (درصد)}$$

فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد ABTS

قدرت مهارکنندگی رادیکال ABTS براساس روش Wang, Chi, Li, Zhang و Luo (۲۰۱۲) با اندکی اصلاحات اندازه‌گیری شد. در ابتدا نانولیپوزوم‌ها به مدت ۵ دقیقه به‌منظور رهایش پپتیدها در دمای 100 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس محلول ABTS (۷ میلی‌مولار) با پتاسیم پرسولفات (۲/۴۵ میلی‌مولار) مخلوط‌شده و در تاریکی به مدت ۱۶ ساعت در دمای اتاق نگهداری گردید. محلول رادیکال ABTS در بافر فسفات پتاسیم نمکی ($\text{pH}=7/4$) تا رسیدن به جذب $0/02 \pm 0/07$ در 734 نانومتر رقیق شد. 980 میلی‌لیتر از محلول ABTS با 20 میکرولیتر از غلظت‌های مختلف نمونه مخلوط و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج 734 نانومتر قرائت گردید. محلول ABTS همراه با آب مقطر به‌عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته می‌شود. توانایی مهارکنندگی رادیکال ABTS نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

جهت بررسی حاضر برای هریک از تیمارها، سه تکرار در نظر گرفته شد. ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و لون به‌ترتیب نرمال‌بودن و همگنی داده‌ها ارزیابی گردید. تمام تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و نمودارهای موجود با Microsoft Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام پذیرفت. جهت بررسی اختلاف بین داده‌های حاصله، از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و همچنین جهت تعیین وجود تفاوت معنی‌دار بین مقادیر میانگین تیمارهای مختلف از آزمون دانکن در سطح ($P \leq 0/05$) استفاده شد.

پتانسیل زتای سطح لیپوزوم‌ها

پتانسیل زتا بهترین شاخص برای تعیین وضعیت الکتریکی سطحی سیستم‌های کلونیدی است. چون نشان‌دهنده میزان تجمع بار در لایه غیرمتحرک و شدت جذب یون‌های مخالف به سطح ذره و در نتیجه میزان پایداری الکترواستاتیک است. کاهش اختلاف پتانسیل زتا به زیر مقدار بحرانی، موجب در هم ریختن لایه دوگانه باردار اطراف ذرات و تجمع ذرات می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد تمامی لیپوزوم‌های حاوی پپتید دارای پتانسیل زتای بالا هستند که بیانگر نقش نیروی دافعه الکترواستاتیک در پایداری نانولیپوزوم‌ها و جلوگیری از تجمع آنها در طول زمان است. وقتی بار کلی روی ذرات افزایش می‌یابد، ذرات همدیگر را دفع کرده و بر توده‌ای شدن غلبه می‌کنند. اندازه‌گیری پتانسیل زتا در کنترل توده‌ای شدن و رسوب نانولیپوزوم‌ها که فاکتورهای مهم در پایداری نانولیپوزوم‌ها هستند، مفید است (Mozafari et al., 2006). در مطالعه حاضر، میانگین پتانسیل زتا از $-51/7$ میلی‌ولت در نمونه نانولیپوزوم فاقد پوشش تا $+50$ میلی‌ولت در نانولیپوزوم‌های پوشش‌دهی شده با غلظت $0/5$ درصد کیتوزان متغیر بود. ذراتی که پتانسیل زتای آنها از $+30$ میلی‌ولت بیشتر یا از -30 میلی‌ولت کمتر باشد، دارای بیشترین پایداری هستند. همان‌طور که در نتایج بدان اشاره گردید غلظت کیتوزان، عاملی تأثیرگذار بر مقادیر پتانسیل زتا بود (جدول ۱). به‌طوری که توانایی پلی‌الکتریک بار برای جذب به سطح لیپوزوم با بار مخالف و ایجاد تغییرات در میزان پتانسیل زتا به‌خوبی مشهود بود. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل پتانسیل زتا می‌توان دریافت لیپوزوم‌های پوشش‌دهی شده پایدار، زمانی تشکیل می‌گردند که مقادیر کیتوزان نزدیک به غلظت بهینه باشند.

راندمان ریزپوشانی نانولیپوزوم‌ها (EE درصد)

راندمان ریزپوشانی یکی از فاکتورهای مهم در تعیین پایداری ترکیبات کپسوله شده می‌باشد، زیرا نشانگر توانایی نانولیپوزوم در جلوگیری از خروج هسته درونی است. راندمان ریزپوشانی در نانولیپوزوم‌های حامل پپتید با در نظر گرفتن غلظت‌های متفاوت کیتوزان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تفاوت در مقادیر کیتوزان تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0/05$) بر مقادیر راندمان ریزپوشانی داشت. به‌طوری که با افزایش درصد کیتوزان مورد استفاده در پوشش نانولیپوزوم‌ها، راندمان ریزپوشانی نیز افزایش داشت (جدول ۱). راندمان ریزپوشانی کمتر در نانولیپوزوم‌های فاقد پوشش را می‌توان به آسیب ناشی از عمل اولتراسانتریفیوژ دانست. ریزپوشانی پپتید در نانولیپوزوم‌های پوشش‌دار ($0/5$ درصد کیتوزان) $86 \pm 2/65$ درصد گزارش گردید. به عبارت دیگر تنها کمتر از 15 درصد از روغن ماهی به صورت غیرکپسوله وجود داشت که با نتایج Hadian, Sahari, Moghimi, Barzegar و Abbasi (۲۰۱۳) مطابقت داشت. به‌طوری که تحقیق‌ها نشان داد روش فراصوت در عین سادگی، میزان درون‌پوشانی قابل قبولی دارد. ترکیبات زیست‌فعال، بسته به ویژگی‌های خاص خود نظیر حلالیت و قطبیت می‌توانند با لیپوزوم‌ها برهمکنش نمایند. به‌طوری که ممکن است در فاز آبی یا لیپیدی کپسوله شده و یا جذب قسمت سطحی لیپوزوم گردند. دانستن ویژگی‌های لیپوزوم جهت بهبود فرمولاسیون با کارایی کپسولاسیون مناسب، ضروری است. راندمان ریزپوشانی عاملی مؤثر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نانولیپوزوم مانند پایداری اکسیداتیو، پایداری فیزیکی، مورفولوژی و میزان رهایش می‌باشد. به‌طور کلی این دیدگاه وجود دارد که پایداری ترکیبات با افزایش راندمان، افزایش می‌یابد و برای دستیابی به شرایط بهینه باید راندمان ریزپوشانی را افزایش داد (Drusch et al., 2012).

جدول ۱- تأثیر سطوح مختلف کیتوزان ($0/05$ ، $0/01$ و $0/5$ درصد) بر خصوصیات فیزیکی نانولیپوزوم‌های حامل پپتید

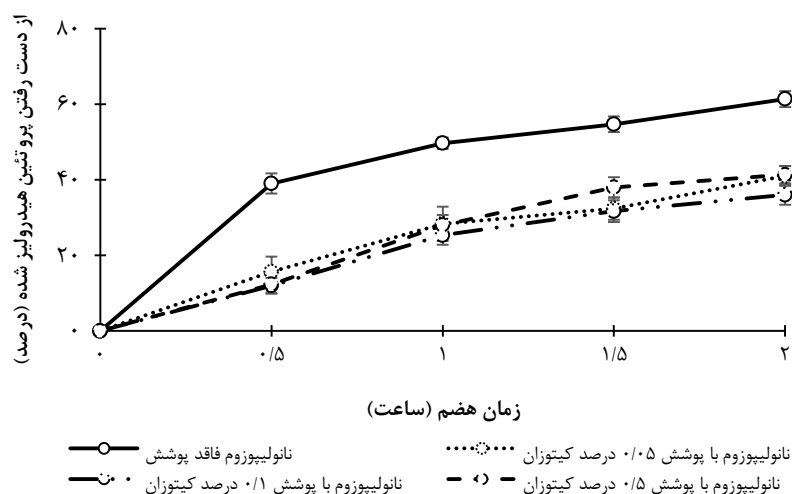
پتانسیل زتا (میلی‌ولت)	میانگین اندازه ذرات (نانومتر)	شاخص پراکندگی ذرات	راندمان ریزپوشانی (EE) (درصد)
نانولیپوزوم‌های فاقد پوشش CH $-51/67 \pm 6/51$	$459/10 \pm 0/46$	$0/44 \pm 0/01$	$57/33 \pm 6/11$
نانولیپوزوم‌های با پوشش CH ($0/05$ درصد) $-32/00 \pm 2/00$	$429/30 \pm 2/08$	$0/39 \pm 0/00$	$60/00 \pm 6/24$
نانولیپوزوم‌های با پوشش CH ($0/1$ درصد) $30/67 \pm 1/15$	$384/90 \pm 4/36$	$0/48 \pm 0/00$	$75/00 \pm 3/61$
نانولیپوزوم‌های با پوشش CH ($0/5$ درصد) $50/33 \pm 2/52$	$334/50 \pm 4/14$	$0/42 \pm 0/01$	$86/00 \pm 2/65$

داده‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار است.

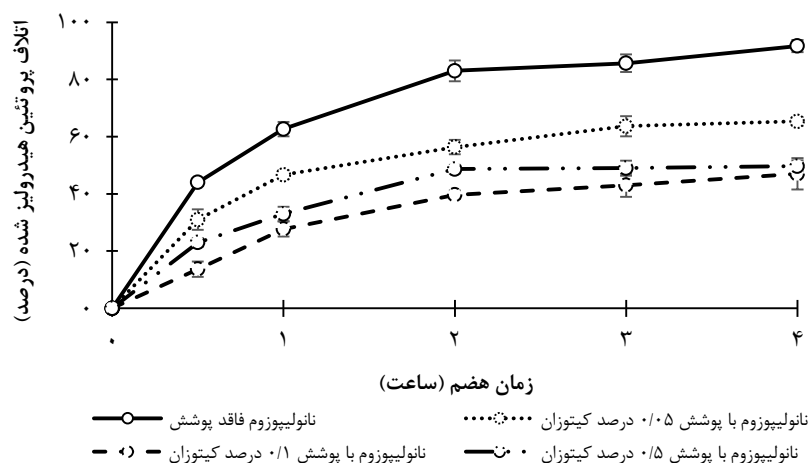
انتشار هسته از طریق لایه‌های پوشش، بخش هیدروکربنی غشا و منافذ موجود در درون غشا نسبت داده‌اند. به‌طور کلی لیپوزوم‌های فاقد پوشش در محیط‌های اسیدی نسبتاً پایدار هستند (Li, 2014). با این وجود در pHهای کمتر از ۶/۵، محیط اسیدی می‌تواند سبب هیدرولیز فسفولیپیدهای اشباع‌شده و منجر به بی‌ثباتی لیپوزوم‌ها گردد (Grit, Underberg, & Crommelin, 1993). عدم پایداری در نانولیپوزوم‌های فاقد پوشش در محیط SIF عمدتاً به دلیل وجود پانکراتین، مخلوط پروتئولیتیک حاوی آنزیم لیپاز، فسفولیپاز و استراز کلسترول می‌باشد (Liu, 2013). بنابراین لیپوزوم‌ها طی عمل هیدرولیز، تخریب‌شده و سبب تراوش FPH کپسوله‌شده از منافذ و حفره‌های شکل‌گرفته در دو لایه لیپیدی گردد. همان‌طور که در شکل (۱) و (۲) مشاهده می‌شود لیپوزوم‌های دارای پوشش در هر دو محیط SGF و SIF نسبت به لیپوزوم‌های فاقد پوشش پایداری عمل نموده است که احتمالاً علت این پدیده تشکیل یک لایه محافظتی قوی با جذب الکترواستاتیک بین کیتوزان و سطح نانولیپوزوم می‌باشد، که بدین‌وسیله از مواجهه لیپوزوم با محیط خارجی ممانعت به‌عمل می‌آورد. درخصوص افزایش انتشار پپتید در نانولیپوزوم‌های با پوشش ۰/۵ درصد کیتوزان در محیط شبیه‌سازی‌شده روده، قابل ذکر است از آنجایی که کیتوزان، یک ماده بازی ضعیف است، با بالا رفتن pH به ۶/۸ در محیط SIF بار منفی خود را از دست می‌دهد.

بررسی رهایش FPH در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده معده (SGF) و روده (SIF)

باتوجه به آنکه زمان تخلیه معده برای یک وعده غذایی استاندارد تقریباً ۱۱۲ دقیقه است (Cann et al., 1983)، درحالی‌که میانگین زمان انتقال در روده کوچک حدود ۲ الی ۴ ساعت به‌طول می‌انجامد (Davis, Hardy, & Fara, 1986). بنابراین بررسی رهایش پپتیدها در محیط شبیه‌سازی‌شده معده (SGF) در مدت زمان ۲ ساعت و در محیط شبیه‌سازی‌شده روده‌ای (SIF) به مدت ۴ ساعت طراحی شده است. شکل‌های (۱) و (۲) اثرات سطوح متفاوت پوشش کیتوزان را بر میزان انتشار در دو محیط در فواصل مختلف زمانی نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج می‌توان بیان نمود میزان انتشار در تمامی تیمارها در هر دو محیط با گذشت زمان هضم، روندی مشابه داشت. نتایج نشان داد در محیط شبیه‌سازی‌شده معده، رهایش FPH در هر فاصله زمانی با افزایش سطح کیتوزان، کاهش معنی‌داری ($P \leq 0.05$) داشت. درصد تجمیع رهایش FPH در نانولیپوزوم‌های فاقد پوشش طی ۲ ساعت عمل هضم در محیط معده، ۶۱/۳۳ درصد، درحالی‌که در نانولیپوزوم‌های با پوشش ۰/۱ درصد CH، ۳۶ درصد محاسبه گردید. رهایش سریع در ۳۰ دقیقه ابتدایی آزمایش احتمالاً به دلیل بازجذب سطحی FPH جذب‌شده از سطح نانولیپوزوم‌ها می‌باشد. Shimanouchi, Kuboi, Yoshimoto و Umakoshi (۲۰۰۴) رهایش تدریجی ترکیبات هسته پس از گذشت ۱ ساعت از عمل هضم را به



شکل ۱- پروفایل رهایش پپتید در نانولیپوزوم‌های با پوشش کیتوزان (۰/۵، ۰/۱ و ۰/۵ درصد) در محیط شبیه‌سازی‌شده معده



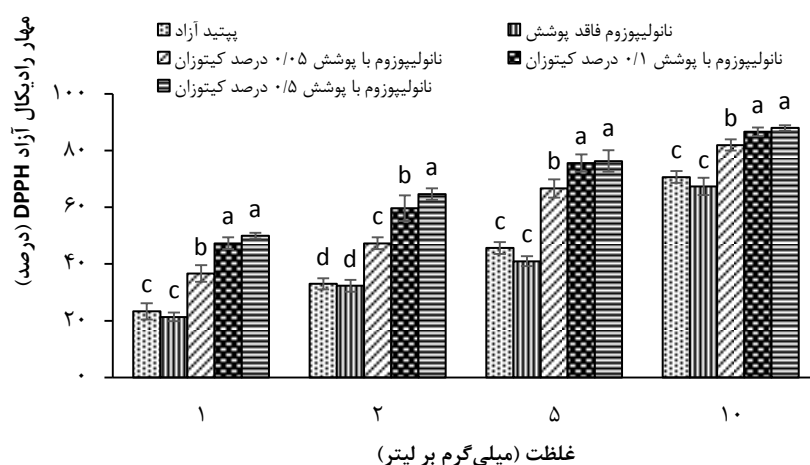
شکل ۲- پروفایل رهايش پپتيد در نانولیپوزوم‌های با پوشش کیتوزان (۰/۵، ۰/۱ و ۰/۵ درصد) در محیط شبیه‌سازی‌شده روده

پپتیدهای آزاد و نانولیپوزوم‌های حامل پپتید وجود نداشت ($P \geq 0.05$). در واقع نتایج حاکی از این است که پپتید به‌وسیلهٔ مواد لیپیدی به‌طور کامل کپسوله شده است. بدون آنکه از فعالیت بیولوژیکی آن کاسته شود. مطالعه‌های پیشین بیان کردند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات هیدرولیزشدهٔ ماهی مرتبط با بعضی از اسیدهای آمینه مانند تیروزین، متیونین، هیستیدین، لیزین، گلايسين و تريپتوفان می‌باشد (Nasri et al., 2013; Taheri et al., 2014; Wang et al., 2012). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش غلظت کیتوزان، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز افزایش یافت که می‌تواند به‌دلیل خصوصیات آنتی‌اکسیدانی کیتوزان موجود در پوشش نانولیپوزوم‌ها باشد (Li, 2014).

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نانولیپوزوم‌های حامل پپتید

فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH

نتایج تحقیق حاضر به‌وضوح نشان داد پروتئین هیدرولیزشدهٔ به‌دست‌آمده از امعا و احشای ماهی کپور معمولی، فعالیت ضد اکسیدانی مناسبی در برابر آزمون‌های حذف رادیکال آزاد از خود نشان داد (شکل ۳) که همسو با نتایج Hosseini و همکاران (۲۰۱۷) بود. فعالیت آنتی‌اکسیدانی FPH به میزان قابل‌توجهی مرتبط با مقادیر بالای اسیدهای آمینهٔ هیدروفوب می‌باشد که حلالیت در لیپیدها را افزایش داده و بدین ترتیب فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهند (Mosquera et al., 2014). با توجه به نتایج، اختلاف معنی‌داری بین توانایی مهار رادیکال آزاد در

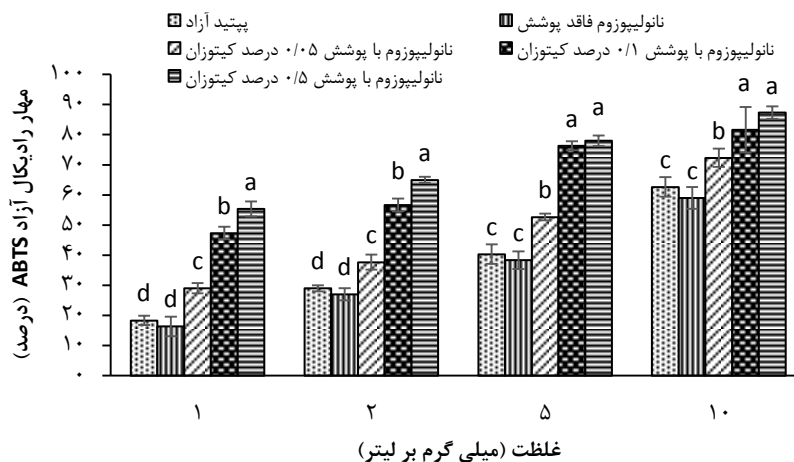


شکل ۳- فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH نانولیپوزوم‌های حاوی پپتید در غلظت‌های مختلف

فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد ABTS

نتایج تحقیق اخیر حاکی از وجود رابطه‌ای قوی بین سطوح کیتوزان و اثرات مهار رادیکال آزاد بود (شکل ۴). به‌طوری‌که با افزایش غلظت کیتوزان مورد استفاده در پوشش نانولیپوزوم‌ها، فعالیت مهارکنندگی نیز روندی افزایشی داشت. اگرچه در تیمار پیتید آزاد و نانولیپوزوم

فاقد پوشش، اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نگردید و با نتایج Hosseini و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی داشت. بنابراین نه‌تنها فرایند ریزپوشانی تأثیر منفی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی لیپوزوم‌های حاوی پیتید نداشت، بلکه به‌دلیل ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی کیتوزان موجود در پوشش سبب افزایش فعالیت مهار رادیکال آزاد گردید.



شکل ۴- فعالیت مهارکنندگی رادیکال ABTS نانولیپوزوم‌های حامل پیتید در غلظت‌های مختلف

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان داد، پوشش کیتوزان به‌طور موفقیت‌آمیز با سطوح لیپوزوم تعاملات الکترواستاتیک برقرار نموده و وجود اختلاف در سطوح پوشش مورد استفاده در ساختار نانولیپوزوم، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر اندازه ذرات، پایداری و راندمان ریزپوشانی خواهد داشت. این نتایج نشان داد پروتئین هیدرولیزشده کپور معمولی، حاوی پپتیدهایی است که به‌عنوان مهارکننده رادیکال آزاد DPPH و اهداکننده هیدروژن عمل کرده و از این طریق رادیکال آزاد را به مولکول‌های پایدار تبدیل می‌کنند. ریزپوشانی پپتیدها در لیپوزوم سبب غلبه بر تخریب

پروتئولیتیک و واکنش با سایر عناصر موجود در غذا می‌گردد که در استفاده مستقیم نانولیپوزوم‌های حامل پپتیدهای زیست‌فعال در غذا حائز اهمیت می‌باشد.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر در راستای بخشی از فرصت مطالعاتی در مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی انجام شده است. بدین‌وسیله از مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی برای کمک‌های مالی و معنوی و نیز از کمک‌های بی‌دریغ کارشناسان آزمایشگاه تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

- Agrawal, A. K., Harde, H., Thanki, K., & Jain, S. (2013). Improved stability and antidiabetic potential of insulin containing folic acid functionalized polymer stabilized multilayered liposomes following oral administration. *Biomacromolecules*, 15(1), 350. doi:<https://doi.org/10.1021/bm401580k>
- Bang, S., Hwang, I., Yu, Y., Kwon, H., Kim, D., & Park, H. J. (2011). Influence of chitosan coating on the liposomal surface on physicochemical properties and the release profile of nanocarrier systems. *Journal of Microencapsulation*, 28(7), 595-604. doi:<https://doi.org/10.3109/02652048.2011.557748>

- Cann, P., Read, N., Cammack, J., Childs, H., Holden, S., Kashman, R., . . . Swallow, K. (1983). Psychological stress and the passage of a standard meal through the stomach and small intestine in man. *Gut*, 24(3), 236-240.
- Centenaro, G. S., Salas-Mellado, M., Pires, C., Batista, I., Nunes, M. L., & Prentice, C. (2014). Fractionation of protein hydrolysates of fish and chicken using membrane ultrafiltration: investigation of antioxidant activity. *Applied biochemistry and biotechnology*, 172(6), 2877-2893. doi:<https://doi.org/10.1007/s12010-014-0732-6>
- Chakrabarti, S., Jahandideh, F., & Wu, J. (2014). Food-Derived Bioactive Peptides on Inflammation and Oxidative Stress. *BioMed Research International*, 2014, 11. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2014/608979>
- Chalamaiah, M., Hemalatha, R., & Jyothirmayi, T. (2012). Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review. *Food Chemistry*, 135(4), 3020-3038. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>
- Channarong, S., Chaicumpa, W., Sinchaipanid, N., & Mitrevej, A. (2011). Development and evaluation of chitosan-coated liposomes for oral DNA vaccine: the improvement of Peyer's patch targeting using a polyplex-loaded liposomes. *Aaps Pharmscitech*, 12(1), 192-200. doi:<https://doi.org/10.1208/s12249-010-9559-9>
- Da Silva, I. M., Boelter, J. F., Da Silveira, N. P., & Brandelli, A. (2014). Phosphatidylcholine nanovesicles coated with chitosan or chondroitin sulfate as novel devices for bacteriocin delivery. *Journal of nanoparticle research*, 16(7), 2479. doi:<https://doi.org/10.1007/s11051-014-2479-y>
- Danquah, M., & Agyei, D. (2012). Pharmaceutical applications of bioactive peptides. *OA biotechnology*, 1(2), 1-7. doi:<https://doi.org/10.13172/2052-0069-1-2-294>
- Davis, S., Hardy, J., & Fara, J. (1986). Transit of pharmaceutical dosage forms through the small intestine. *Gut*, 27(8), 886-892. doi:<http://dx.doi.org/10.1136/gut.27.8.886>
- Diniz, F. M., & Martin, A. M. (1996). Use of response surface methodology to describe the combined effects of pH, temperature and E/S ratio on the hydrolysis of dogfish (*Squalus acanthias*) muscle. *International Journal of Food Science & Technology*, 31(5), 419-426. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1996.00351.x>
- Drusch, S., Serfert, Y., Berger, A., Shaikh, M., Rätzke, K., Zaporojtchenko, V., & Schwarz, K. (2012). New insights into the microencapsulation properties of sodium caseinate and hydrolyzed casein. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 332-338. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.10.001>
- Galla, N. R., Pamidighantam, P. R., Akula, S., & Karakala, B. (2012). Functional properties and in vitro antioxidant activity of roe protein hydrolysates of *Channa striatus* and *Labeo rohita*. *Food Chemistry*, 135(3), 1479-1484. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.098>
- Ghorbanzade, T., Jafari, S. M., Akhavan, S., & Hadavi, R. (2017). Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. *Food Chemistry*, 216, 146-152. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.022>
- Grit, M., Underberg, W. J. M., & Crommelin, D. J. A. (1993). Hydrolysis of Saturated Soybean Phosphatidylcholine in Aqueous Liposome Dispersions. *Journal of pharmaceutical sciences*, 82(4), 362-366. doi:<https://doi.org/10.1002/jps.2600820405>
- Hadian, Z., Sahari, M., Moghimi, H., Barzegar, M., & Abbasi, S. (2013). Preparation and characterization of nanoliposomes containing docosahexaenoic and eicosapentaenoic acids by extrusion and probe sonication. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(1), 219-230 (in Persian).
- Hosseini, S. F., Ramezanzade, L., & Nikkhah, M. (2017). Nano-liposomal entrapment of bioactive peptidic fraction from fish gelatin hydrolysate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1455-1463. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.141>
- Kuboi, R., Shimanouchi, T., Yoshimoto, M., & Umakoshi, H. (2004). Detection of protein conformation under stress conditions using liposomes as sensor materials. *Sensors and Materials*, 16(5), 241-254.

- Lassoued, I., Mora, L., Barkia, A., Aristoy, M.-C., Nasri, M., & Toldrá, F. (2015). Bioactive peptides identified in thornback ray skin's gelatin hydrolysates by proteases from *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens*. *Journal of Proteomics*, 128, 8-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jprot.2015.06.016>
- Li, Z. (2014). *Encapsulation of bioactive salmon protein hydrolysates with chitosan-coated liposomes*. (Master's thesis), Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Retrieved from <https://dalspace.library.dal.ca/bitstream/handle/10222/54045/Li-Zhiyu-MSc-FOSC-Aug-2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Liu, W., Ye, A., Liu, W., Liu, C., & Singh, H. (2013). Stability during in vitro digestion of lactoferrin-loaded liposomes prepared from milk fat globule membrane-derived phospholipids. *Journal of Dairy Science*, 96(4), 2061-2070. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2012-6072>
- Liu, Y., Liu, D., Zhu, L., Gan, Q., & Le, X. (2015). Temperature-dependent structure stability and in vitro release of chitosan-coated curcumin liposome. *Food Research International*, 74, 97-105. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.024>
- Mosquera, M., Giménez, B., da Silva, I. M., Boelter, J. F., Montero, P., Gómez-Guillén, M. C., & Brandelli, A. (2014). Nanoencapsulation of an active peptidic fraction from sea bream scales collagen. *Food Chemistry*, 156, 144-150. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.011>
- Mozafari, M., Flanagan, J., Matia-Merino, L., Awati, A., Omri, A., Suntres, Z., & Singh, H. (2006). Recent trends in the lipid-based nanoencapsulation of antioxidants and their role in foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2038-2045. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.2576>
- Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishimura, H., & Shahidi, F. (2011). Functionalities and antioxidant properties of protein hydrolysates from the muscle of ornate threadfin bream treated with pepsin from skipjack tuna. *Food Chemistry*, 124(4), 1354-1362. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.089>
- Nasri, R., Younes, I., Jridi, M., Trigui, M., Bougatef, A., Nedjar-Arroume, N., . . . Karra-Châabouni, M. (2013). ACE inhibitory and antioxidative activities of Goby (*Zosterisessor ophiocephalus*) fish protein hydrolysates: effect on meat lipid oxidation. *Food Research International*, 54(1), 552-561. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.001>
- Ovissipour, M., Abedian, A., Motamedzadegan, A., Rasco, B., Safari, R., & Shahiri, H. (2009). The effect of enzymatic hydrolysis time and temperature on the properties of protein hydrolysates from Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) viscera. *Food Chemistry*, 115(1), 238-242. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.013>
- Page, D. T & ,Cudmore, S. (2001). Innovations in oral gene delivery: challenges and potentials. *Drug Discovery Today*, 6(2), 92-101. doi:[https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(00\)01600-7](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(00)01600-7)
- Picot, L., Ravallec, R., Fouchereau-Peron, M., Vandanjon, L., Jaouen, P., Chaplain-Derouiniot, M., . . . Bourseau, P. (2010). Impact of ultrafiltration and nanofiltration of an industrial fish protein hydrolysate on its bioactive properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(11), 1819-1826. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.4020>
- Rasti, B., Jinap, S., Mozafari, M. R., & Yazid, A. M. (2012). Comparative study of the oxidative and physical stability of liposomal and nanoliposomal polyunsaturated fatty acids prepared with conventional and Mozafari methods. *Food Chemistry*, 135(4), 2761-2770. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.016>
- Razali, A., Amin, A., & Sarbon, N. (2015). Antioxidant activity and functional properties of fractionated cobia skin gelatin hydrolysate at different molecular weight. *International Food Research Journal*, 22(2), 651-660 .
- Rekha, M. R., & Sharma, C. P. (2011). Chapter 8 - Nanoparticle Mediated Oral Delivery of Peptides and Proteins: Challenges and Perspectives. In C. Van Der Walle (Ed.), *Peptide and Protein Delivery* (pp. 165-194). Boston :Academic Press.
- Segura-Campos, M., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D., & Hernandez-Escalante, V. M. (2011). Bioavailability of Bioactive Peptides. *Food Reviews International*, 27(3), 213-226. doi:<https://doi.org/10.1080/87559129.2011.563395>

- Taheri, A., Sabeena Farvin, K. H., Jacobsen, C., & Baron, C. P. (2014). Antioxidant activities and functional properties of protein and peptide fractions isolated from salted herring brine. *Food Chemistry*, 142, 318-326. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.113>
- Vignesh, R., Haq, M. B., Devanathan, K., & Srinivasan, M. (2011). Pharmacological potential of Fish extracts. *Archives of Applied Sciences Research*, 3(5), 52-58 .
- Wang, B., Li, Z.-R., Chi, C.-F., Zhang, Q.-H., & Luo, H.-Y. (2012). Preparation and evaluation of antioxidant peptides from ethanol-soluble proteins hydrolysate of *Sphyrna lewini* muscle. *Peptides*, 36(2), 240-250. doi:<https://doi.org/10.1016/j.peptides.2012.05.013>
- Wu, J., Zhao, L., Xu, X., Bertrand, N., Choi, W. I., Yameen, B., . . . MacLean, J. L. (2015). Hydrophobic cysteine poly(disulfide)-based redox-hypersensitive nanoparticle platform for cancer theranostics. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(32), 9218-9223. doi:<https://doi.org/10.1002/anie.201503863>
- Zhang, Y., Duan, X., & Zhuang, Y. (2012). Purification and characterization of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysates of tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin. *Peptides*, 38(1), 13-21. doi:<https://doi.org/10.1016/j.peptides.2012.08.014>

The Production and Evaluation of Nanoliposomes Containing Bioactive Peptides Derived from Fish Wastes Using the Alkalase Enzyme

Shirin Hasani¹, Mostafa Shahidi Noghabi^{2*}, Seyed Mehdi Ojagh³

1- Ph.D. Student of Sea Food Processing, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2- Associate Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

* Corresponding author (m.shahidi@rifst.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Sea Food Processing, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

In recent years, several studies have focused on the production of bioactive peptides from fish waste due to its beneficial effects on human health. Bioactive peptides with low molecular weight require protective methods to increase gastrointestinal stability and active absorption, controlled release and optimized efficacy during oral delivery. The aim of this study was to develop an oral phospholipid nanoliposomal system incorporated with bioactive peptides derived from fish protein hydrolysate (FPH) of common carp (*Cyprinus carpio*) in chitosan coating (0.05, 0.1, 0.5% w/v) by the alkalase enzyme. The results showed that chitosan coating greatly improved the stability of nanoliposomes. The average particle size was in the range of 339-459 nm with a zeta potential of -51.7 to +50 and a poly dispersity index (PDI) of 388- 0.487 in nanoliposomes. The Encapsulation Efficiency (EE%) values were significantly influenced by changes in the concentration of chitosan and the maximum EE% (86 ± 2.65) was observed in the nanoliposome coated with 0.5% chitosan. Studying the releasing rate of the peptide in simulated gastric fluid (SGF) and simulated intestinal fluid (SIF) showed the effect of coating on the stability of peptides in simulated biological environments. Also, the evaluation of antioxidant activity by DPPH and ABTS tests showed that there was a high activity of radical scavenging activity in nanoliposomes in chitosan-coated and non-coated samples. The results of this study showed that encapsulation of bioactive peptide in the liposomal system could be a useful approach for direct application of peptides with antioxidant potential in food products.

Keywords: Antioxidant Activity, Bioactive Peptide, Chitosan, Nanoliposome, Release

بهینه‌سازی تولید پروتئین هیدرولیز شده با قابلیت ضد اکسندگی بالا از کنجاله کنجد به کمک روش سطح پاسخ

عذرا موسوی نسب^۱، علیرضا صادقی ماهونک^{۲*}، محمد قربانی^۲، مهران اعلمی^۲، نسیم مشگین فر^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

* نویسنده مسئول (sadeghiaz@gau.ac.ir)

۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

هدف از این پژوهش تولید پروتئین هیدرولیز شده از کنجاله کنجد با بالاترین فعالیت ضد اکسندگی توسط روش آماری سطح پاسخ بود. پروتئین کنجاله کنجد، که یک محصول کم ارزش است و اغلب به مصرف دام می‌رسد را می‌توان از طریق هیدرولیز آنزیمی، توسط آنزیم آلکالاز به پروتئین هیدرولیز شده با ارزش افزوده مناسب تبدیل نمود. فاکتورهایی که در این پژوهش جهت رسیدن به بیشترین میزان فعالیت ضد اکسندگی بررسی شدند شامل: دما (۴۰-۵۵ درجه سانتی‌گراد)، زمان (۳۰-۱۸۰ دقیقه) و نسبت آنزیم به سوبسترا (۱-۳ درصد) بودند. تأثیر این پارامترها به عنوان متغیر مستقل در هیدرولیز بر قابلیت مهار رادیکال آزاد توسط معادله درجه دوم برازش گردید. نتایج حاصل از بهینه‌سازی پروتئین هیدرولیز شده بر اساس میزان مهار رادیکال دی فنیل ۲،۲ دی فنیل ۱، پیکریل هیدرازیل (DPPH) توسط روش سطح پاسخ نشان داد که مقادیر بهینه برای مهار رادیکال DPPH در دمای ۵۲/۰۷ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۲۵/۴۹ دقیقه و نسبت آنزیم به سوبسترا ۳ درصد به دست می‌آید. حداکثر مقادیر به دست آمده برای مهار رادیکال DPPH، ۶۶/۵ درصد بود. همچنین نتایج حاصل نشان داد که تولید پروتئین هیدرولیز شده به صورت مؤثری تحت تأثیر شرایط واکنش قرار دارد، در واقع هریک از فاکتورهای دما، زمان و مقدار آنزیم تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات محصول دارند و پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد می‌تواند قابلیت کاربرد در فرمولاسیون مواد غذایی به عنوان ترکیب ضد اکسندگی طبیعی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی
پروتئین هیدرولیز شده
روش سطح پاسخ
کنجاله کنجد
هیدرولیز آنزیمی

مقدمه

کنجد^۱ به خانواده پدالیاسه^۲ تعلق دارد و یکی از گیاهان زراعی با ارزش است. بیشترین بخش کاربردی کنجد، دانه آن است که علاوه بر چربی، حاوی پروتئین نیز می‌باشد (Rastegar, 2005). از طرفی کنجاله دانه کنجد و محصولات فرعی فرایند شده از آنها می‌تواند از لحاظ

اقتصادی منبع مناسب و قابل توجه برای تولید پروتئین‌های هیدرولیز شده باشند. تحقیقات اخیر به سمتی پیش رفته است که علاوه بر محصولات با ارزش مانند دانه‌های روغنی و روغن آنها، می‌توان از کنجاله پس از فرایند روغن‌کشی شده آنها که عموماً مورد استفاده دام قرار می‌گیرد، استفاده مجدد صورت گیرد (Chatterjee, 2015; Dey, Ghosh, & Dhar, 2015).

¹ *Sesam Indicum*

² *Pedaliaceae*

(Fang, 2009)، بادامزمینی (Tang et al., 2012)، دانه لوبیاسبز آفریقایی (Ajibola, Fashakin, Fagbemi, & Aluko, 2011)، سویا (Chen, Muramoto, & Yamauchi, 1995) و فعالیت ضداکسندگی از خود نشان می‌دهند.

روش سطح پاسخ^۳ روشی مفید جهت بهینه‌سازی فرایندهای غذایی می‌باشد (Diniz & Martin, 1996). Meshgin Far (۲۰۱۲) از روش آماری سطح پاسخ جهت بهینه‌سازی شرایط فرایند هیدرولیز پروتئین روده و معدۀ گوسفند با استفاده از آنزیم آلکالاز (۲/۴ واحد بر گرم) استفاده نمود. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی پروتئین هیدرولیزشده، محتوی بالای پروتئین (۸۳/۷۸ درصد) و میزان بسیار کم چربی (۰/۳۴ درصد) و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا را در این محصول نشان داد.

Mehregan-Nikoo و همکاران (۲۰۱۳) اثر هیدرولیز پروتئین ماهی کاراس^۴ توسط آنزیم آلکالاز را بهینه نمود و همچنین شرایط هیدرولیز جهت دستیابی به بیشترین درجه هیدرولیز و فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش سطح پاسخ را موردبررسی قرار داد. نتایج نشان داد که بالاترین قدرت احیاکنندگی پروتئین‌های هیدرولیزشده در زمان هیدرولیز ۱۲۰ دقیقه به‌دست آمد که در مقایسه با اسید آسکوربیک ۱۰۰ پی.پی.ام، ۶۷/۳۲ درصد قدرت احیاکنندگی از خود نشان داد.

تجزیه‌وتحلیل سطح پاسخ اثرات بین متغیرهای مستقل را به‌تنهایی یا در ترکیب با سایرین تعریف می‌نماید و این روش می‌تواند مدلی ریاضی که کل فرایند را توصیف می‌کند را ایجاد کند (Sumaya-Martínez, Castillo-Morales, Favela-Torres, Huerta-Ochoa, & Prado-Barragán, 2005). هدف از این پژوهش تجزیه‌وتحلیل پاسخ اثرات ترکیبی دما، زمان و نسبت آنزیم بر فعالیت ضداکسندگی پروتئین هیدرولیزشده کنجاله کنگد با استفاده از آنزیم آلکالاز بود.

مواد و روش‌ها

مواد خام اولیه

کنجاله کنگد از کارخانه روغن‌کشی دانه‌های روغنی ورژن واقع در شهرک صنعتی اطراف گرگان خریداری شد و پس از چربی‌زدایی کامل توسط هگزان به آزمایشگاه تجزیه مواد غذایی دانشگاه گرگان منتقل گردید. آنزیم آلکالاز (با

پروتئین‌های هیدرولیزشده مواد غذایی دارای خواص بیولوژیک بالایی می‌باشند که به‌صورت بالقوه در عملکرد و سلامت انسان استفاده می‌شوند و عملکردهایی نظیر کاهش‌دهنده فشارخون، ضدسرطان ضداکسندگی، شلاته‌کنندگی، اثرات مثبت بر سیستم ایمنی بدن، ضد میکروبی و غیره از خود بروز می‌دهند (Agyei, Ongkudon, Wei, Chan, & Danquah, 2016).

پپتیدهای زیست‌فعال که اجزای تشکیل‌دهنده ترکیبات حاصل از هیدرولیز پروتئین‌ها هستند، اغلب از ۲ تا ۲۰ اسیدآمینو تشکیل شده‌اند و جرم مولکولی آنها کمتر از ۶۰۰۰ دالتون می‌باشد (Alaiz, Beppu, Ohishi, & Kikugawa, 1994). با این حال پپتیدهای متعددی یافت شده‌اند که عملکردهای چندگانه از خود بروز می‌دهند (Sarmadi & Ismail, 2010). پروتئین‌های هیدرولیزشده به‌عنوان اجزای پروتئینی موردبررسی قرار می‌گیرند که در ساختار پروتئین اصلی غیرفعال بوده و پس از رهاسدن از زنجیره پروتئینی فعالیت‌های بیولوژیکی مشخصی از خود نشان می‌دهند. قابلیت ضداکسندگی پروتئین‌های هیدرولیزشده به تأثیرات چندگانه‌ای نسبت داده شده است. برخی از این ویژگی‌ها شامل توانایی آنها در مهار رادیکال‌های آزاد دی‌فنیل ۲،۲ دی‌فنیل ۱، پیکریل هیدرازیل (DPPH)^۱، عمل به‌عنوان شلاته‌کننده فلزات^۲، خاموش‌کننده اکسیژن یا اهداکننده هیدروژن و امکان جلوگیری از نفوذ آغازکننده‌های اکسیداسیون چربی به‌وسیله تشکیل لایه‌ای در اطراف قطره‌های روغن می‌باشد (Li, Jiang, Zhang, Mu, & Liu, 2008).

به‌کارگیری تکنولوژی آنزیمی به‌منظور بازیابی و تغییرات پروتئینی سبب تولید طیف وسیعی از اجزای غذایی و محصولات صنعتی گردیده است. هیدرولیز آنزیمی پروتئین‌های مواد غذایی روش مؤثر در بازیابی پپتیدهای زیست‌فعال قوی می‌باشد و مشخص شده است که پروتئین‌های هیدرولیزشده با وزن مولکولی پایین، خواص عملکردی و زیست‌فعال بالاتری دارند و قابلیت استفاده در کاربردهای غذایی و دارویی دارند (Nalinanon, Benjakul, Kishimura, & Shahidi, 2011). همچنین مشخص گردیده است که پروتئین هیدرولیزشده از منابعی نظیر دانه آلو (Amza, Balla, Tounkara, Man, & Zhou, 2013)، دانه کاملیا (Li et al., 2015)، خزه دریایی (Sheih, Wu, &

³ Response Surface Methodology

⁴ *Carassius Carassius*

¹ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

² Chelating

غیرفعال شدن آنزیم، سوسپانسیون در حمام آب گرم در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت و دمای مخلوط با استفاده از حمام آب یخ سریعاً کاهش یافت و در نهایت جهت به دست آوردن محلول پروتئین هیدرولیز شده، نمونه به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد در سانتریفیوژ یخچال دار با دور ۷۶۰۰×g سانتریفیوژ شد (Taheri, Abedian Kenari, Motamedzadegan, & Habibi, 2011) و مایع رویی حاصل با استفاده از دستگاه خشک کن انجمادی خشک گردید.

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی

آزمون‌های کنجالة کنجد

تعیین ترکیبات شیمیایی، شامل اندازه‌گیری رطوبت، خاکستر (Parvaneh, 2006) و اندازه‌گیری پروتئین طبق روش کدال (AOAC, 2008) صورت گرفت. نمونه کنجالة کنجد شامل: ۶/۶ درصد رطوبت، ۹/۲۵ درصد خاکستر و ۴۳/۴۹ درصد پروتئین بود.

اندازه‌گیری فعالیت مهار رادیکال‌های DPPH

برای این منظور ۱۰۰۰ میکرولیتر از هر نمونه با ۱۰۰۰ میکرولیتر DPPH (۰/۱ میلی مولار)، تهیه شده توسط اتانول ۹۹/۵ درصد مخلوط و سپس به مدت ۶۰ دقیقه در تاریکی قرار داده و جذب رادیکال DPPH در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (پی جی اینسترومنت مدل T80، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری گردید. فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد باتوجه به رابطه (۱) محاسبه گردید.

رابطه (۱)

$$100 \times \frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل}}{\text{جذب کنترل}} = \text{فعالیت زدودن رادیکال آزاد}$$

نمونه کنترل به همان طریق تهیه شد، با این تفاوت که به جای نمونه از آب مقطر استفاده گردید. جذب کمتر مخلوط نشان دهنده فعالیت مهار رادیکال DPPH بالاتر می‌باشد (Bougatef et al., 2009).

بهینه‌سازی شرایط آزمایش

به منظور بهینه‌سازی شرایط تولید پروتئین هیدرولیز شده از روش سطح پاسخ با طراحی مرکب مرکزی استفاده شد. ۳ متغیر دما (X_1)، زمان (X_2) و نسبت آنزیم به سوبسترا (X_3) به عنوان متغیرهای مستقل در سه سطح (۱، ۰ و -۱) مورد آزمایش قرار گرفتند (جدول ۱).

فعالیت مشخص ۲/۴ واحد آنسون بر گرم) (یک اندوپروتئیناز گرفته شده از باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس^۱، از شرکت نووژایم (دانمارک) خریداری و تا شروع آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی گراد در یخچال نگهداری شد. سدیم هیدروکسید و هیدروکلریدریک اسید از شرکت مرک آلمان و معرف DPPH از شرکت سیگما تهیه گردیدند. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش از درجه آزمایشگاهی برخوردار بودند.

تولید ایزوله پروتئینی

به منظور تهیه پروتئین هیدرولیز شده، کنجالة کنجد پس از چربی زدایی با هگزان، به نسبت ۱ به ۱۰ وزنی/حجمی با آب مقطر رقیق و به مدت ۱ ساعت در دمای ۵۰-۵۵ درجه سانتی گراد در pH معادل ۹/۵ (توسط سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال) قرار گرفت. سپس به منظور حذف بخش نامحلول به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ یخچال دار (مدل Combi-514R، شرکت هانبل، ساخت کره جنوبی) با دمای ۱۰ درجه سانتی گراد، با دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از آن سوپرناتانت حاصل جهت رسوب در نقطه ایزوالکتریک به pH معادل ۴/۹ (توسط هیدروکلریدریک اسید ۰/۱ نرمال) رسانده شد و به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ یخچال دار با دور ۸۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت که در این صورت مواد به ۳ فاز تقسیم شدند که فاز اول را چربی، فاز میانی را آب و فاز انتهایی را پروتئین تشکیل می‌داد. در نهایت محتوی پروتئین جدا شده جهت آزمایش‌های بعدی جمع‌آوری شد (Chatterjee et al., 2015).

تهیه پروتئین هیدرولیز شده

جهت انجام فرایند هیدرولیز، ابتدا نمونه پروتئینی به نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر رقیق و سپس با بافر تریس-اسیدی هیدروکلریدریک^۲ به نسبت وزنی/حجمی ۱ به ۲ مخلوط گشته و به حالت سوسپانسیون یکنواخت و pH مناسب جهت فعالیت آنزیم آلکالاز درآمد (pH=۸). سپس آنزیم در محدوده غلظتی ۱-۳ درصد به ارلن‌های حاوی نمونه اضافه گردید. واکنش‌های هیدرولیز در انکوباتور لرزشی با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه در محدوده دمایی ۴۰-۵۵ درجه سانتی گراد و محدوده زمانی ۳۰-۱۸۰ دقیقه انجام شد (Meshgin Far, 2012). در انتها به منظور حصول اطمینان از

^۱ Bacillus licheniformis

^۲ Tris-HCl

بحث و نتایج آنالیز سطح پاسخ

نتایج تجزیه واریانس برای متغیر مهار رادیکال آزاد (DPPH) در جدول (۳) و نتایج مربوط به ارزیابی هر یک از مدل‌ها در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که تأثیر هر کدام از متغیرهای دما، زمان و میزان آنزیم بر میزان پاسخ‌ها معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.05$).

جدول ۳- ضرایب مدل برای درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH)

ضریب رگرسیون (DPPH)	
مدل	۸۰۸/۳۹**
X_1 (زمان)	-۰/۱۱*
X_2 (دما)	-۳۶/۵۳**
X_3 (نسبت)	-۱۳/۳۹*
X_1^2	۵/۲۵ ^{ns}
X_2^2	۰/۴۱**
X_3^2	-۰/۶۲ ^{ns}
X_1X_2	۰/۰۰ ^{ns}
X_1X_3	-۰/۰۳ ^{ns}
X_2X_3	۰/۴۶*

* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد ($P < 0.05$)، ** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد ($P < 0.01$) و ^{ns}: غیرمعنی‌دار

رابطه (۲)، روابط بین پاسخ (قابلیت جذب رادیکال آزاد) و پارامترهای هیدرولیز (دما، زمان و نسبت آنزیم به سوبسترا) را نشان می‌دهد.

رابطه (۲)

$$\text{DPPH} = 808.296 - 0.1146 \times \text{Time} - 36.515 \times \text{temp} - 13.3927 \times e/s + 0.04062 \times \text{temp}^2 + 0.004464 \times \text{time} \times \text{temp} - 0.03178 \times \text{time} \times e/s + 0.460500 \times \text{temp} \times e/s$$

رابطه (۲)، بیانگر این است که رابطه بین مهار رادیکال آزاد (DPPH) با پارامترهای هیدرولیز از نوع درجه دوم است و نتایج مربوط به جدول (۴) نشان می‌دهد که ضریب همبستگی R^2 برای مدل (۰/۹۷۷) به دست آمد و این نشان‌دهنده توانایی خوب مدل در پیش‌بینی شرایط واکنش می‌باشد. همچنین عدم برازش مدل، معنی‌دار نشد ($P > 0.05$) و این نشان‌دهنده مناسب بودن مدل برای این آزمایش می‌باشد.

جدول ۱- متغیرهای مستقل و سطوح مورد استفاده جهت بهینه‌سازی فعالیت ضد اکسندگی پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد

متغیرهای مستقل	سطوح و درصد متغیرها		
	-۱	۰	+۱
دما (درجه سانتی‌گراد)	۴۰	۴۷/۵۰	۵۵
زمان (دقیقه)	۳۰	۱۰۵	۱۸۰
نسبت آنزیم به سوبسترا	۱	۲	۳

تیمارهای آزمایشی و طراحی آنها در جدول (۲) ارائه شده است. فعالیت مهار رادیکال آزاد (DPPH) به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و اثر متغیرهای مستقل روی این پاسخ بررسی شد. به منظور بهینه‌سازی فعالیت ضد اکسندگی پروتئین هیدرولیز شده از روش سطح پاسخ استفاده گردید. به این منظور طرح مرکب مرکزی با ۳ سطح (+۱، ۰ و -۱) و ۶ تکرار در نقطه مرکزی مورد استفاده قرار گرفت.

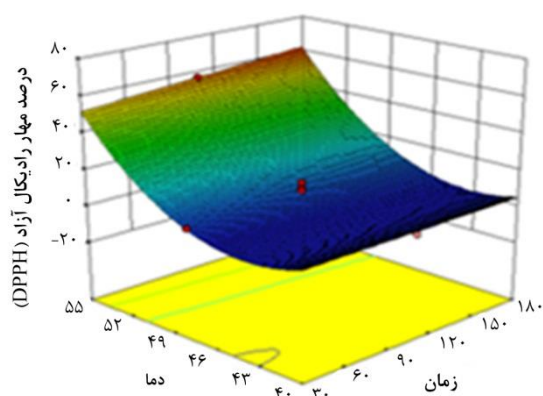
جدول ۲- طرح آزمایشی مرکب مرکزی و سطوح تعیین شده و پاسخ متغیرهای مستقل برای فعالیت ضد اکسندگی پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد

شماره تیمار	زمان (X_1)	دما (X_2)	فعالیت آنزیمی (X_3)
۱	۳۰	۴۰/۰۰	۳
۲	۱۸۰	۵۵/۰۰	۱
۳	۱۰۵	۴۷/۵۰	۲
۴	۱۰۵	۴۷/۵۰	۲
۵	۱۰۵	۴۰/۰۰	۲
۶	۱۰۵	۵۵/۰۰	۲
۷	۱۰۵	۴۷/۵۰	۳
۸	۱۰۵	۴۷/۵۰	۱
۹	۱۸۰	۴۷/۵۰	۲
۱۰	۱۰۵	۴۷/۵۰	۲
۱۱	۱۸۰	۴۰/۰۰	۱
۱۲	۳۰	۵۵/۰۰	۳
۱۳	۱۰۵	۴۷/۵۰	۲
۱۴	۳۰	۴۰/۰۰	۱
۱۵	۳۰	۴۷/۵۰	۲
۱۶	۱۸۰	۴۰/۰۰	۳
۱۷	۱۰۵	۴۷/۵۰	۲
۱۸	۱۰۵	۴۷/۵۰	۲
۱۹	۱۸۰	۵۵/۰۰	۳
۲۰	۳۰	۵۵/۰۰	۱

¹ Quadratic Polynomial Model

نتایج حاصل از پژوهش (Meshgin Far ۲۰۱۲) نشان داد که فعالیت مهار رادیکال^۱ آزاد با پیشرفت زمان هیدرولیز به مقدار مشخصی رسیده و سپس از میزان آن کاسته شد. همچنین پژوهش Nourmohammadi, Sadeghi, Alami, Sadeghi-Mahoonak و Ghorbani (۲۰۱۷) نشان داد که خاصیت ضد اکسندگی پروتئین هیدرولیز شده دانه کدو در ابتدا کاهش و سپس افزایش چشمگیری داشته است.

شکل (۲) تغییرات درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH) در دماها و زمان‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. براساس نتایج متغیر دما در نواحی بالاتر از ۴۹ درجه سانتی‌گراد بیشترین اثر را در مهار رادیکال آزاد (DPPH) داشته درحالی‌که افزایش زمان پس از گذشت ۱۲۰ دقیقه اثر بیشتری را نشان می‌دهد. تغییر در اندازه، میزان و ساختار اسیدهای آمینه و پپتیدها در اثر گذشت زمان هیدرولیز، میزان فعالیت ضد اکسندگی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Wu, Chen, & Shiau, 2003).



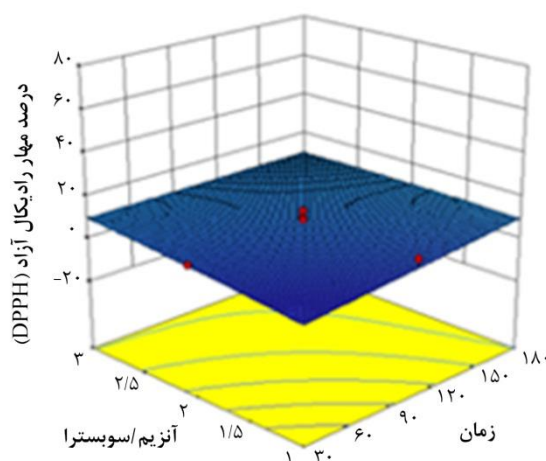
شکل ۲- نمودار سه‌بعدی تغییرات درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH) در دما و زمان‌های مورد آزمایش

شکل (۳) که بیانگر تغییرات درصد مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) در نسبت آنزیم به سوپسترا و دماهای مورد آزمایش است، بیان می‌کند که افزایش دما از محدوده میانی به بالا تأثیر بالاتری در مهار رادیکال آزاد (DPPH) داشته و نسبت آنزیم نیز از ناحیه میانی به بالا موجب افزایش مهار رادیکال آزاد (DPPH) می‌شود.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس برای مدل درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH)

DPPH	
ضریب رگرسیون	عدد
Lack of fitness	۰/۲۱
R ² -pred	۰/۹۳
R ² -Adj	۰/۹۸

به جهت تعیین شرایط بهینه هر متغیر در هیدرولیز آنزیمی جهت حصول بالاترین قدرت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (DPPH)، نمودارهای سه‌بعدی سطحی برای متغیرها در شکل (۱) تا (۳) ترسیم شده است. هر شکل اثرات دو متغیر روی پاسخ را در زمانی که متغیر سوم در شرایط بهینه قرار داده شده است، نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱) دیده می‌شود با افزایش زمان هیدرولیز و نسبت آنزیم به سوپسترا، میزان فعالیت ضد اکسندگی مقدار اندکی افزایش یافت. نتایج شکل (۱) نشان می‌دهد که افزایش فعالیت آنزیم در یک زمان ثابت نیز در تغییرات فعالیت ضد اکسندگی اثر داشته است. توجیه تغییرات فعالیت ضد اکسندگی با گذشت زمان مربوط به تغییر طول زنجیره پپتیدی با افزایش میزان هیدرولیز است. همچنین بسیاری از پژوهش‌ها ثابت کرده است که پپتیدهای با وزن مولکولی کمتر، فعالیت ضد اکسندگی بالاتری از خود نشان می‌دهند (Rajapakse, Mendis, Byun, & Kim, 2005).



شکل ۱- نمودار سه‌بعدی تغییرات درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH) در نسبت آنزیم به سوپسترا و زمان‌های مورد آزمایش

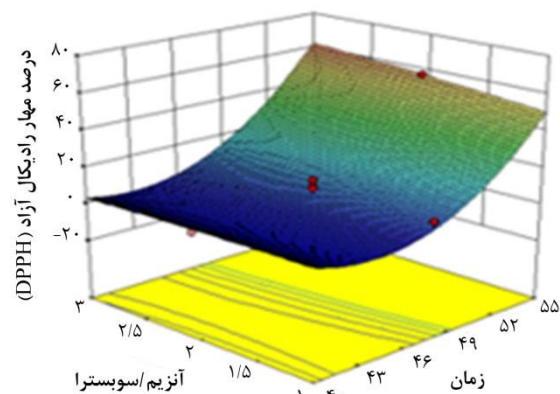
¹ Inhibition of Radicals

داد که بین مقدار پیش‌بینی‌شده و مقدار به‌دست‌آمده حاصل از انجام آزمون اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در این شرایط برای درصد مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) ۶۶/۵۰ درصد به‌دست آمد که این بیانگر توانایی مناسب مدل در پیش‌بینی اثر سه متغیر دما، زمان و نسبت آنزیم بر هیدرولیز پروتئین می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تولید پروتئین هیدرولیز‌شده چندین هدف مختلف را دنبال می‌کند که مهم‌ترین آنها استفاده بهینه از بخش پروتئینی مواد غذایی می‌باشد. امروزه پیشرفت در تکنولوژی، امکان استفاده از منابع پروتئینی مختلف و غیرقابل دسترس را فراهم کرده است.

در این مطالعه تولید پروتئین هیدرولیز‌شده با خاصیت ضداکسندگی بالا از کنجاله کنجد با استفاده از آنزیم آلکالاز توسط روش سطح پاسخ صورت پذیرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که فاکتورهای دما، زمان و آنزیم تحت شرایط واکنش تأثیر معنی‌داری بر کیفیت محصول هیدرولیز‌شده دارند. این پروتئین‌های هیدرولیز‌شده می‌توانند به‌عنوان ضداکسنده طبیعی در فرمولاسیون غذایی و دارویی به‌کار گرفته شوند.



شکل ۳- نمودار سه‌بعدی تغییرات درصد مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) در نسبت آنزیم به سوبسترا و دماهای مورد آزمایش

بهینه‌سازی و اعتبارسنجی مدل

بیشترین میزان پیش‌بینی‌شده توسط مدل برای درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH) ۶۵/۳۷ درصد بود. شرایط بهینه ارائه‌شده توسط مدل برای مهار رادیکال (DPPH) دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۸۰ دقیقه و نسبت آنزیم به سوبسترا ۳ درصد بود. تهیه پروتئین هیدرولیز‌شده در شرایط بهینه ارائه‌شده توسط مدل به‌صورت آزمایشی انجام و نتیجه با مقدار پیش‌بینی‌شده مقایسه گردید. نتایج حاصل از آزمایش انجام‌شده نشان

منابع

- Agyei, D., Ongkudon, C. M., Wei, C. Y., Chan, A. S., & Danquah, M. K. (2016). Bioprocess challenges to the isolation and purification of bioactive peptides. *Food and Bioprocess Processing*, 98, 244-256. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.02.003>
- Ajibola, C. F., Fashakin, J. B., Fagbemi, T. N., & Aluko, R. E. (2011). Effect of peptide size on antioxidant properties of African yam bean seed (*Sphenostylis stenocarpa*) protein hydrolysate fractions. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(10), 6685-6702. doi:<https://doi.org/10.3390/ijms12106685>
- Alaiz, M., Beppu, M., Ohishi, K., & Kikugawa, K. (1994). Modification of delipidated apoprotein B of low density lipoprotein by lipid oxidation products in relation to macrophage scavenger receptor binding. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 17(1), 51-57. doi:<https://doi.org/10.1248/bpb.17.51>
- Amza, T., Balla, A., Tounkara, F., Man, L., & Zhou, H. (2013). Effect of hydrolysis time on nutritional, functional and antioxidant properties of protein hydrolysates prepared from gingerbread plum (*Neocarya macrophylla*) seeds. *International Food Research Journal*, 20(5), 2081-2090.
- AOAC. (2008). Official methods of analysis, 18th ed. In *Association of official Analytical Chemists*: Washington, DC.
- Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y., & Nasri, M. (2009). Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food Chemistry*, 114(4), 1198-1205. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.075>

- Chatterjee, R., Dey, T. K., Ghosh, M., & Dhar, P. (2015). Enzymatic modification of sesame seed protein, sourced from waste resource for nutraceutical application. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 70-81. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.01.007>
- Chen, H.-M., Muramoto, K., & Yamauchi, F. (1995). Structural analysis of antioxidative peptides from Soybean. beta.-Conglycinin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(3), 574-578. doi:<https://doi.org/10.1021/jf00051a004>
- Diniz, F. M., & Martin, A. M. (1996). Use of response surface methodology to describe the combined effects of pH, temperature and E/S ratio on the hydrolysis of dogfish (*Squalus acanthias*) muscle. *International Journal of Food Science & Technology*, 31(5), 419-426. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1996.00351.x>
- Li, X., Deng, J., Shen, S., Li, T., Yuan, M., Yang, R., & Ding, C. (2015). Antioxidant activities and functional properties of enzymatic protein hydrolysates from defatted *Camellia oleifera* seed cake. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5681-5690. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-014-1693-z>
- Li, Y., Jiang, B., Zhang, T., Mu, W., & Liu, J. (2008). Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). *Food Chemistry*, 106(2), 444-450. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.067>
- Mehregan-Nikoo, A., Alireza, S.-M., Ghorbani, M., Taheri, A., Alami, M., & Kamali, F. (2013). Effect of hydrolysing condition on antioxidant activity of protein hydrolysate from crucian carp (*Carassius carassius*). *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 2(4), 351-364. (in Persian)
- Meshgin Far, A. (2012). *Preparation of Hydrolyzed Protein from Side Products of Meat Industries and evaluation of its Antioxidant Properties*. (Unpublished master's thesis), Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (in Persian)
- Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishimura, H., & Shahidi, F. (2011). Functionalities and antioxidant properties of protein hydrolysates from the muscle of ornate threadfin bream treated with pepsin from skipjack tuna. *Food chemistry*, 124(4), 1354-1362. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.089>
- Nourmohammadi, E., Sadeghi-Mahoonak, A., Alami, M., Ghorbani, M., & Sadeghi, M. (2017). Optimization of pumpkin oil cake protein hydrolysis with Alcalase to achieve the maximum antioxidant activity. *Journal of Technology and Food Preservation*, 9(1), 1-12 (in Persian) doi:<https://doi.org/10.22069/efjfp.2017.8810.1236>
- Parvaneh, v. (2006). *Quality control and chemical analysis of food product*. Tehran University Publication: 332 (in Persian).
- Rajapakse, N., Mendis, E., Byun, H.-G., & Kim, S.-K. (2005). Purification and in vitro antioxidative effects of giant squid muscle peptides on free radical-mediated oxidative systems. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 16(9), 562-569. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2005.02.005>
- Rastegar, M. (2005). *Cultivation of Industrial Plants*. Agriculture, Borhanmand Publication: First Printing, 480 (in Persian).
- Sarmadi, B. H., & Ismail, A. (2010). Antioxidative peptides from food proteins: a review. *Peptides*, 31(10), 1949-1956. doi:<https://doi.org/10.1016/j.peptides.2010.06.020>
- Sheih, I.-C., Wu, T.-K., & Fang, T. J. (2009). Antioxidant properties of a new antioxidative peptide from algae protein waste hydrolysate in different oxidation systems. *Bioresource Technology*, 100(13), 3419-3425. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.014>
- Sumaya-Martínez, T., Castillo-Morales, A., Favela-Torres, E., Huerta-Ochoa, S., & Prado-Barragán, L. A. (2005). Fish protein hydrolysates from gold carp (*Carassius auratus*): I. A study of hydrolysis parameters using response surface methodology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), 98-104. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.1943>
- Taheri, A., Abedian Kenari, A., Motamedzadegan, A., & Habibi Rezaie, M. (2011). Optimization of goldstripe sardine (*Sardinella gibbosa*) protein hydrolysate using Alcalase® 2.4 L by response surface methodology Optimización de hidrolisato de proteína de Sardinela dorada (*Sardinella gibbosa*) usando Alcalase® 2.4 L a través de RSM. *CyTA-Journal of Food*, 9(2), 114-120. doi:<https://doi.org/10.1080/19476337.2010.484551>
- Tang, L., Sun, J., Zhang, H. C., Zhang, C. S., Yu, L. N., Bi, J., . . . Yang, Q. L. (2012). Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of peanut protein hydrolysate. *PloS one*, 7(5), e37863.
- Wu, H.-C., Chen, H.-M., & Shiau, C.-Y. (2003). Free amino acids and peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel (*Scomber austriasicus*). *Food Research International*, 36(9-10), 949-957. doi:[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(03\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00104-2)

The Optimization of Hydrolyzed Protein Production with High Anti-Oxidation Ability from Sesame Meal by Response Surface Methodology

Azra Mousavi Nasab¹, Alireza Sadeghi Mahoonak^{2*}, Mohammad Ghorbani²,
Mehran Alami², Nasim Meshginfar³

1. Msc. Graduate, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
- * Corresponding author (sadeghiaz@gau.ac.ir)
- 3- PhD. Graduate, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

The purpose of this study was to produce a hydrolyzed protein from sesame seed meal using response surface methodology (RSM). The sesame meal protein is a low-value product, often used for feeding animals, but it can be hydrolyzed to protein hydrolysate with high nutritional value using alkalase enzyme. The factors that were considered in this study to achieve the highest level of antioxidant activity were temperature (40-55 °C), time (30-180 min) and ratio of enzyme to substrate (1-3%) whose effects, as 3 independent variables, were evaluated on DPPH free radical scavenging activity and this effect fitted by quadratic equation. The results showed that optimal conditions for reaching the highest antioxidant activity were temperature 52.07 °C, time 125.49 min and ratio of enzyme to substrate was 3% and under this condition DPPH free radical scavenging activity was 66.5%. Also, the results showed that the production of hydrolyzed protein was highly affected by the hydrolysis conditions, so different hydrolysis conditions including time, temperature and enzyme to substrate ratio showed significant effect on the properties of final hydrolyzed product. The results showed that hydrolyzed sesame protein can be used in food formulation as a natural antioxidant.

Keywords: Enzyme Hydrolysis, Hydrolyzed Protein, Optimization, Response Surface Method, Sesame Meal

ریزپوشانی توأم روغن ماهی و ویتامین E به روش کوآسرواسیون ترکیبی و بهینه‌یابی کارایی آن با روش سطح پاسخ (RSM)

فاطمه میرزایی کلایی^۱، سیدعلی جعفرپور^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد شیلات، گرایش فراوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه شیلات، گروه فراوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
* نویسنده مسئول (a.jafarpour@sanru.ac.ir)

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۷

واژه‌های کلیدی

روغن ماهی
ریزپوشانی
ژلاتین
کوآسرواسیون ترکیبی
ویتامین E

در این پژوهش روغن ماهی و ویتامین E با استفاده از مواد پلیمری ژلاتین و صمغ عربی به‌عنوان مواد دیواره و با کمک روش کوآسرواسیون ترکیبی با روش سطح پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) ریزپوشانی و بهینه‌سازی شدند. اثر سه متغیر مستقل میزان روغن ماهی (۱، ۳ و ۵ درصد)، میزان بیوپلیمر کل (۱، ۳ و ۵ درصد) و سرعت هموژنایزر (۱۱۰۰۰، ۹۰۰۰ و ۷۰۰۰ دور در دقیقه) بر متغیرهای وابسته از قبیل روغن سطحی، روغن پوشینه‌شده، کارایی ریزپوشانی و اندازه ذرات بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد سرعت هموژنایزر ۷۰۰۰ دور در دقیقه برای تولید نانوذرات با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر مناسب نمی‌باشد. به‌علاوه، پارامترهای درصد روغن ماهی و سرعت هموژنایزر بر اندازه نانوپوشینه‌های تولیدی مؤثر می‌باشند. همچنین نانوپوشینه‌های تولیدی در تیمارهایی که در آنها از درصد بیشتری روغن استفاده شد در مقایسه با تیمارهای با درصد روغن کمتر از روغن سطحی بیشتری برخوردار بودند. میزان کارایی ریزپوشانی بین ۵۶/۲۹ تا ۹۸/۷۶ درصد اندازه‌گیری شد. در این پژوهش تیمار بهینه با مقادیر ۱ درصد روغن ماهی، ۱ درصد بیوپلیمر کل و سرعت هموژنایزر ۷۰۰۰ دور در دقیقه معرفی گردید که میزان کارایی ریزپوشانی آن ۹۷/۹۷ درصد ثبت گردید.

مقدمه

(Arab-Tehrany et al., 2012). این اسیدهای چرب

امگا-۳ به‌صورت فزاینده‌ای به‌عنوان بخش مهمی از رژیم غذایی جهت سلامت و پیشگیری از بیماری به‌کارگرفته می‌شوند. این اسیدهای چرب به‌صورت طبیعی در ماهی‌های چرب مانند ماهی آزاد، ماهی تن و مکمل‌های روغن ماهی به‌وفور وجود دارند. ازجمله اثرات مهم سلامت‌بخش EPA و DHA کاهش خطر بروز بیماری‌های قلبی - عروقی است و همچنین DHA در رشد و تکامل مغز و بافت عصبی نوزادان نقش مهمی را ایفا می‌کند

اسیدهای چرب امگا-۳ از قبیل آلفا لینولنیک اسید^۱ (ALA) ایکوزاپنتانویک اسید^۲ (EPA) و دکوزاهگزانویک اسید^۳ (DHA) جزء اسیدهای چرب ضروری هستند و باید از طریق رژیم غذایی به‌دست آیند، با این حال مصرف این اسیدهای چرب بیش‌ازحد پایین است که اثرات سلامتی نامطلوب بسیاری را برای افراد به همراه دارد؛ بنابراین افزایش مصرف اسیدهای چرب امگا-۳ توصیه می‌شود

¹ Alpha-Linolenic acid

² Eicosapentaenoic

³ Docosahexaenoic

مخالف استفاده می‌شود این فناوری بهترین روش برای پایداری روغن‌های حاوی امگا-۳ در فرایند ریزپوشانی است (Kaushik, Dowling, Barrow, & Adhikari, 2015). مزیت اصلی کوآسرواسیون ترکیبی تولید میکروپوشینه‌هایی با اندازه ۱ تا ۱۰۰۰ میکرومتر می‌باشد. علاوه بر این، در مقایسه با دیگر فرایندهای ریزپوشانی، در کوآسرواسیون ترکیبی ظرفیت انتقال هسته به درون مواد دیواره برای ذرات تک‌هسته‌ای ۹۰ درصد و برای ذرات چندهسته‌ای ۶۰ درصد می‌باشد. این روش به‌طور موفقیت‌آمیزی از مهاجرت روغن به سطح ذره جلوگیری می‌کند و غلظت روغن سطحی در مقایسه با دیگر روش‌ها به‌طور معمول کمتر است (Zhang, Zhang, Hu, Bao, & Huang, 2012). ژلاتین رایج‌ترین پروتئین مورد استفاده در فرایند ریزپوشانی است زیرا ویژگی‌های آمینواسیدی و چگالی بار مناسبی جهت کوآسرواسیون دارد ساختار کلئیدی ژلاتین بار کافی را روی زنجیره‌ها به‌منظور جلوگیری از رسوب آنها نگهداری می‌کند. صمغ عربی پلی‌ساکاریدی با آرایش حلقه‌ای است که به‌طور مشابه بارها را روی زنجیره حفظ می‌کند و نیز اجازه می‌دهد مقدار قابل‌توجهی آب بین زنجیره‌ها برای جلوگیری از رسوب آنها مسدود شود. آرایش تصادفی حلقه‌ای دو پلیمر برای تشکیل کوآسروای مطلوب است زیرا این آرایش از بارها بهتر نگهداری می‌کند و تعامل بین پلیمرها را افزایش می‌دهد (Kaushik et al., 2015). براساس مطالعه‌های انجام‌شده Kermasha, Neufeld, Dutilleul, Gill, Aziz (۲۰۱۴) روغن کریل را با استفاده از کمپلکس ژلاتین و صمغ عربی ریزپوشانی و با استفاده از روش سطح پاسخ^۳ (RSM) بهینه‌سازی کردند. نتایج نشان دادند که pH بیشترین اثر خطی معنی‌دار بر کارایی ریزپوشانی دارد و ارتباط مستقیمی بین pH و نسبت هسته و دیواره وجود دارد درحالی‌که سرعت هم‌زدن اثر معنی‌داری نداشت. شرایط بهینه کارایی ریزپوشانی شامل نسبت هسته به دیوار ۱:۱/۷۵، pH=۳/۸، و سرعت هم‌زدن ۳ (از مقیاس ۱۰) می‌باشد. میزان کارایی ریزپوشانی بین ۴۵/۱۶ تا ۹۶/۹۲ درصد قرار داشت. در مطالعه Choi, Ruktanonchai, Min, Chun و Soottitawat (۲۰۱۰) بتا-سیکلودکسترین و پلی‌کاپرولاکتون^۴ به‌عنوان مواد

(Ghorbani Hassan Sariei, Shahidi, Bahadorghousi, 2012 & Motamedzadegan). اسیدهای چرب امگا-۳ می‌توانند برای غنی‌سازی مواد غذایی کم‌چرب و یا تولید مواد غذایی فراسودمند مورد استفاده قرار گیرند. از آنجاکه این ترکیبات آب‌گریز بوده و عملاً در آب نامحلول هستند غنی‌سازی فراورده‌های غذایی و نوشیدنی‌های آبی با آن بسیار مشکل است. از طرف دیگر به‌دلیل داشتن پیوندهای غیراشباع به‌شدت به تخریب اکسیداتیو حساس می‌باشند به‌طوری‌که در اثر اکسیداسیون علاوه بر تولید عطر و طعم نامناسب اثرات سلامت‌بخشی آن نیز کاهش می‌یابد (Bahrani, Mohammad Hasani, Ghanbarzadeh, & Hamishekar, 2013). همچنین ویتامین E یکی از مهم‌ترین ترکیبات مغذی طبیعی ضروری می‌باشد که می‌تواند از غشای زیستی به‌عنوان جاذب رادیکال در برابر پراکسیداسیون چربی محافظت کند و از بروز بسیاری از بیماری‌های خطرناک مانند سرطان و بیماری‌های قلبی - عروقی جلوگیری می‌کند. ویتامین E در بسیاری از مواد غذایی به‌عنوان افزودنی کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد اما زمانی که در معرض اکسیژن و پرتو فرابنفش قرار می‌گیرد به‌راحتی تخریب می‌شود. ریزپوشانی می‌تواند با تولید نانوپوشینه‌ها^۱ در صنعت غذا از طریق محافظت مواد هسته در برابر محیط آنها امتیازهایی فراهم آورد (Chang, Lee, & Lee, 2005). ریزپوشانی فرایندی است که در آن عناصر حساس یا مواد هسته در پلیمرهای محافظ یا مواد دیواره به‌عنوان عوامل پوشینه‌ساز به‌دام می‌افتند (Hogan, McNamee, O'Riordan, & O'Sullivan, 2001). مواد پوسته میکروپوشینه از هسته در برابر اثرات محیطی (اکسیژن، نور، رطوبت و غیره) محافظت می‌کند (Garg, Wood, Singh, & Moughan, 2006). طیف گسترده‌ای از فرایندهای مهندسی جهت ریزپوشانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوع فرایند به‌کاررفته برای ریزپوشانی بستگی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی هسته و پوشش و نوع کاربرد آن در مواد غذایی دارد (Zuidam & Shimoni, 2010). کوآسرواسیون ترکیبی^۲ یکی از روش‌های فیزیکوشیمیایی ریزپوشانی ذرات است، در کوآسرواسیون ترکیبی از پلیمرها با بار

³ Response Surface Methodology

⁴ Polycaprolactone

¹ Nanocapsule

² Complex Coaservation

تیتراکم، تهران)، صمغ عربی (جرم مولکولی ۲۶۶/۳۸ کیلودالتون و فرمول مولکولی $C_{16}H_{26}O_3$) از شرکت دای جونگ کره جنوبی، پودر لاتین پوست ماهیان سردآبی (جرم مولکولی ۶۰ کیلودالتون، دمای نگهداری ۸-۲ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۴۰-۵۰ درصد در آب) از شرکت سیگمای آمریکا تهیه شدند. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده با درجه آزمایشگاهی از فروشگاه‌های مواد شیمیایی و آزمایشگاهی معتبر تهیه شدند.

تهیه آمولسیون‌ها و پودر نانوپوشینه

محلول‌های ژلاتین و صمغ عربی با غلظت ۶ درصد وزنی-حجمی به‌طور جداگانه تهیه شدند. به‌منظور آب‌گیری کامل مواد دیواره عمل هم‌زدن ترکیب ژلاتین و صمغ عربی به‌ترتیب در دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸-۱۲ ساعت در بن‌ماری انجام گرفت. روغن ماهی در سطوح ۱، ۳ و ۵ درصد، بیوپلیمر کل با نسبت (۱:۱) در سطوح ۱، ۳ و ۵ درصد با سرعت‌های متفاوت هم‌زن‌ایزر (مکانیکی) (Wise-15D, Ultra-Turrax)، ساخت کره جنوبی (۱۱۰۰۰، ۹۰۰۰ و ۷۰۰۰ دور در دقیقه) به‌عنوان متغیرهای مستقل برای تهیه آمولسیون در نظر گرفته شد. در ابتدا ویتامین E در غلظت ۳۰۰۰ پی.پی.ام به روغن ماهی اضافه شد. سپس محلول ژلاتین به روغن ماهی دارای ویتامین E اضافه و به‌طور کامل هم‌وزن شد. بعد از آن آب‌مقطر در مقدار معین باتوجه‌به نوع تیمار اضافه و به مدت ۸ دقیقه با هم‌زن‌ایزر در سرعت‌های متفاوت (۱۱۰۰۰، ۹۰۰۰ و ۷۰۰۰ دور در دقیقه) هم‌وزن شد، سپس محلول صمغ عربی به آن اضافه و دوباره ۸ دقیقه هم‌وزن شد. به‌این‌ترتیب آمولسیون چندقانۀ روغن در آب آماده شد. آمولسیون‌های تهیه‌شده به‌منظور بررسی اندازه ذرات به دانشگاه تربیت مدرس تهران منتقل شدند. pH آمولسیون با استفاده از ۰/۱ HCl مولار به ۳/۸ رسید و به‌منظور ایجاد پیوندهای عرضی بین مواد پلیمری ۱ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نیز اضافه شد، سپس ۴ درصد مالتودکسترین به‌منظور خشک‌شدن بهتر دیواره‌ها به محلول‌ها اضافه گردید و ۲ دقیقه با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه هم‌وزن شدند سپس آمولسیون‌ها به‌منظور خشک‌شدن به دستگاه خشک‌کن

دیواره به‌منظور ریزپوشانی روغن ماهی مورد استفاده قرار گرفت. براساس مطالعه‌های قبلی، کپسوله‌کردن روغن ماهی در مواد دیواره بتا-سیکلودکسترین با نسبت ۱۰:۲۰ (روغن ماهی: بتا-سیکلودکسترین) بهترین ترکیب از لحاظ کارایی ریزپوشانی (۸۴/۱ درصد)، بارگیری روغن ماهی (۶۲/۷ درصد)، نشت روغن ماهی پس از خشک‌کردن انجمادی (۰/۱۱ درصد) را نشان داد. در مطالعه Jafarpour, Esfahani و Jafari (۲۰۱۶)، اسیدهای چرب امگا-۳ با استفاده از ژلاتین ماهی و صمغ عربی ریزپوشانی و با روش سطح پاسخ (RSM) بهینه‌سازی شد. در این مطالعه تأثیر سه متغیر مستقل غلظت ژلاتین ماهی (۳۳ تا ۶۶ درصد)، غلظت اسید چرب امگا-۳ (۱۰ تا ۳۰ درصد) و سرعت هم‌زن‌ایزر (۲۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۱۰۰۰ دور در دقیقه) بر سطوح پاسخ مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه حاضر از ویتامین E به‌منظور پایداری اکسایشی نانوذرات استفاده شد. Pourashouri (۲۰۱۲) در مطالعه خود تأثیر مواد دیواره روی ریزپوشانی و پایداری روغن کبد ماهی کاد^۱ و روغن امگا-۳ را بررسی کردند. مطالعه روی روغن سطحی نشان داد که کمترین میزان روغن سطحی در تیمارهای حاوی مواد دیواره ژلاتین و بیشترین روغن سطحی در تیمارهای حاوی مواد دیواره کیتوزان وجود داشت. پودرهای روغن ماهی ریزپوشانی‌شده با کیتوزان درصد کارایی ریزپوشانی کمتری (۶۷/۳۵ درصد) در مقایسه با پودرهای ژلاتین - ترانس‌گلوتامیناز (۸۸/۰۱ درصد) نشان دادند. از روش‌های افزایش ماندگاری اسیدهای چرب غیراشباع می‌توان به افزودن آنتی‌اکسیدان (طبیعی و مصنوعی) و فرایند ریزپوشانی اشاره کرد. هدف از مطالعه حاضر بهینه‌یابی ریزپوشانی هم‌زمان روغن ماهی حاوی امگا-۳ و ویتامین E (به‌عنوان آنتی‌اکسیدان طبیعی) با استفاده از ژلاتین و صمغ عربی به‌عنوان مواد دیواره با استفاده از تکنیک کوآسرواسیون ترکیبی بود.

مواد و روش‌ها

روغن ماهی از گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان^۲ به روش خیساندن (نسبت هگزان به ایزوپروپانول برابر ۱ به ۳) استخراج شد (Lin & Lin, 2015)، ویتامین E (شرکت

^۱ Code fish

^۲ *Oncorhynchus mykiss*

میلی لیتر هگزان به ۲/۵ گرم پودر نانوپوشینه اضافه شد و به مدت ۲ دقیقه ورتکس شد، سپس به مدت ۲۰ دقیقه در ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (Universal Centrifuge، BH:1200، ساخت ایران) شد. محلول رویی از کاغذ صافی عبور داده شد و ۲ بار با هگزان شسته شد. هگزان توسط روتاری با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد تبخیر شد و روغن باقی مانده در ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شده و روغن آزاد محاسبه گردید. (Klinkesorn, Sophanodora, Chinachoti, Decker, & McClements, 2006)

اندازه گیری روغن پوشینه شده^۴

به منظور اندازه گیری روغن پوشینه شده، پودر عاری از چربی سطحی (پودر حاصل از مرحله قبل) با ۲ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شد و به مدت ۱ دقیقه ورتکس شد. محلول حاصل با ۲۵ میلی لیتر از هگزان ۳/۱۰۰ پروپانول ۱ استخراج شده و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. فاز آلی شفاف جمع آوری شده و دوباره فاز آبی با مخلوط حلال استخراج شد. در نهایت این محلول حاوی روغن پوشینه شده در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد تبخیر شد و وزن روغن باقی مانده محاسبه گردید (Klinkesorn et al., 2006).

اندازه گیری روغن کل^۵

روغن کل به مجموع روغن های سطحی و پوشینه شده گفته می شود. بدین منظور ۲ میلی لیتر آب مقطر به ۰/۵ گرم پودر نانوپوشینه اضافه شد و به مدت ۱ دقیقه ورتکس شد سپس روغن کل با استفاده از روش گفته شده برای روغن پوشینه شده استخراج شد (Klinkesorn et al., 2006).

اندازه گیری کارایی ریزپوشانی (EE^۶)

کارایی ریزپوشانی با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Klinkesorn et al., 2006):

انجمادی (Alpha, Freeze Dryer Vacume concentrators 2-LDplus، ساخت آلمان) منتقل و نانوپوشینه ها تولید شدند (Liu, Low, & Nickerson, 2010).

اندازه ذرات امولسیون

اندازه ذرات امولسیون و پتانسیل زتا با استفاده از دستگاه پراکندگی نور دینامیک^۱ (DLS) (مدل Zetasizer Nano Series، شرکت Malvern، ساخت آمریکا) تعیین گردید (García-Moreno, Guadix, Guadix, & Jacobsen, 2016). میانگین قطر حجمی (میانگین حجم معادل) از رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه (۱)

$$D_{43} = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$$

در رابطه (۱)، $\sum n_i$: مجموع تعداد قطرات با قطر d_i و D_{43} : میانگین قطر برحسب حجم - وزن است.

توزیع اندازه ذرات با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

رابطه (۲)

$$Span = \frac{D(90\%) - D(10\%)}{D(50\%)}$$

در رابطه (۲)، $D(10\%)$ ، $D(50\%)$ و $D(90\%)$: قطری که حجم ذرات کوچکتر از آن به ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می دهد. سطح ویژه ذرات^۲ (SSA) نیز برحسب میلی متر مربع بر میلی لیتر از روی قطر متوسط در رابطه (۳) محاسبه شد:

رابطه (۳)

$$SSA = \frac{6}{D_{43}}$$

در رابطه (۳)، SSA: سطح ویژه ذرات می باشد. در رابطه های (۱)، (۲) و (۳) داده ها به صورت دستی وارد شده اند.

اندازه گیری روغن سطحی^۳ نانوپوشینه

به منظور اندازه گیری روغن سطحی روی ذرات، ۱۵

^۴ Encapsulated Oil

^۵ Total Oil

^۶ Encapsulation Efficiency

^۱ Dynamic Light Scattering

^۲ Specific surface area

^۳ Surface Oil

رابطه (۴)

$$100 = \frac{\left(\frac{\text{گرم}}{100}\right) \text{روغن کپسوله شده}}{\text{روغن کل}} = \text{درصد ریزپوشانی}$$

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش به منظور بهینه سازی تیمارهای آزمایشی از طرح آماری روش سطح پاسخ (RSM) استفاده شد، همچنین به منظور بهینه سازی فرایند تولید نانو پوشینه ها از طرح مرکب مرکزی^۱ (CCD) استفاده شد (جدول ۲). این طرح دارای ۲۰ آزمایش که خود شامل ۸ نقطه فاکتوریل، ۶ نقطه محوری و ۶ نقطه مرکزی به منظور تخمین خطای آزمایش بود. در جدول (۱) اثر متغیرهای مستقل شامل میزان روغن ماهی، میزان بیوپلیمر کل و سرعت هموژنایزر در ۳ سطح آورده شده است. بهینه سازی براساس میزان کارایی ریزپوشانی به عنوان شاخص در نظر گرفته شد. آزمون آماری مدل به دست آمده برای هر پاسخ براساس آزمون آنالیز واریانس (ANOVA) صورت گرفت. جهت طراحی آزمایش، آنالیز نتایج، رسم نمودارها و بهینه سازی از نرم افزار دیزاین اکسپرت^۲ (نسخه ۷) استفاده شد. شاخص های اندازه گیری شده طبق رابطه (۵) مدل سازی شدند.

رابطه (۵)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j} \sum \beta_{ij} X_i X_j$$

رابطه (۵) شامل اثرات خطی^۳ عوامل، اثر مربع^۴ یا درجه دوی^۵ عوامل و اثر برهم کنش، متقابل یا تداخلی^۶ متغیرهای مستقل می باشد. Y عبارت است از متغیر وابسته $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}$ و β_{ij} ثابت های برآورد شده توسط مدل X_i و X_j سطح متغیرهای مستقل بوده و آنها به ترتیب نمایانگر اثرات خطی، درجه دوم و اثرات متقابل متغیرهای X_1, X_2 و X_3 که با نماد A, B و C در جدول (۱) نشان داده شده اند، روی پاسخ می باشند.

جدول ۱- سطوح متغیرهای آزمایشی جهت ریزپوشانی روغن ماهی

نوع متغیر	نماد	سطوح کدبندی شده		
		-۱	۰	+۱
روغن ماهی (درصد)	A	۱	۳	۵
بیوپلیمر کل (درصد)	B	۱	۳	۵
سرعت هموژنایزر (دور در دقیقه)	C	۷۰۰۰	۹۰۰۰	۱۱۰۰۰

جدول ۲- طراحی آزمایش ریزپوشانی روغن ماهی به همراه ویتامین E با مواد پلیمری ژلاتین و صمغ عربی با استفاده از روش کوآسرواسیون ترکیبی

تیمار	روغن ماهی (درصد)	بیوپلیمر کل (درصد)	سرعت هموژنایزر (دور در دقیقه)
۱	۳	۳	۹۰۰۰
۲	۱	۱	۱۱۰۰۰
۳	۳	۵	۹۰۰۰
۴	۵	۵	۱۱۰۰۰
۵	۵	۳	۹۰۰۰
۶	۳	۳	۹۰۰۰
۷	۳	۳	۷۰۰۰
۸	۳	۳	۹۰۰۰
۹	۵	۵	۷۰۰۰
۱۰	۵	۱	۱۱۰۰۰
۱۱	۱	۱	۷۰۰۰
۱۲	۱	۵	۱۱۰۰۰
۱۳	۳	۳	۹۰۰۰
۱۴	۱	۳	۹۰۰۰
۱۵	۳	۱	۹۰۰۰
۱۶	۳	۳	۹۰۰۰
۱۷	۳	۳	۱۱۰۰۰
۱۸	۵	۱	۷۰۰۰
۱۹	۳	۳	۹۰۰۰
۲۰	۱	۵	۷۰۰۰

نتایج

اندازه ذرات امولسیون و توزیع آنها

نتایج بررسی اندازه ذرات امولسیون در جدول (۳) آورده شده است. به منظور بررسی اندازه و پتانسیل زتا ذرات امولسیون ۳ تیمار ۱۱، ۶ و ۱۰ انتخاب شدند. معیار انتخاب این نمونه ها براساس بهینه سازی کارایی ریزپوشانی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) می باشد. نتایج نشان دادند محدوده میانگین اندازه ذرات بین ۵۹/۲ تا ۵۱۴ نانومتر می باشد. براساس نتایج تیمار ۱۱ (تیمار

^۱ Central composite rotatable design^۲ Design Expert 7^۳ Linear^۴ Square^۵ Quadratic^۶ Interaction

بیوپلیمر کل و سرعت هموژنایزر ۹۰۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. شاخص اسپان دامنه نمودار توزیع اندازه ذرات را نشان می‌دهد. کوچک‌تربودن شاخص اسپان در تیمار ۶ (مرکزی) نشان داد ذرات از پراکنش یکنواخت‌تری در این امولسیون برخوردارند. در این مطالعه سطح ویژه در محدوده ۰/۱ - ۰/۰۱ میلی‌متر مربع بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. طبق نتایج تیمار ۶ دارای بیشترین میزان سطح ویژه (۰/۱ میلی‌متر مربع بر میلی‌لیتر) نسبت به ۲ تیمار دیگر است.

بهینه) بهترین درصد کارایی ریزپوشانی را داشت اما اندازه پوشینه‌های تولیدشده در سرعت هموژنایزر ۷۰۰۰ دور در دقیقه معادل ۵۱۴ نانومتر بود. در مقایسه دو تیمار ۶ (مرکزی) و ۱۰ (غیربهینه یا پایین‌ترین درصد کارایی ریزپوشانی) اندازه پوشینه‌های تولیدی به‌ترتیب معادل ۵۹/۲ و ۱۱۲/۱ نانومتر بود، نتیجه اینکه افزایش درصد روغن ماهی و سرعت هموژنایزر باعث افزایش اندازه ذرات شده است. کوچک‌ترین اندازه ذرات ۳۷/۶۸ و ۸۰/۷۲ نانومتر اندازه‌گیری شده است که مربوط به تیمار ۶ یا مرکزی بوده که شامل ۳ درصد روغن ماهی، ۳ درصد

جدول ۳- داده‌های مربوط به میانگین اندازه ذرات، سطح مخصوص، عدد اسپان و پتانسیل زتا امولسیون

تیمار	روغن ماهی (درصد)	بیوپلیمر کل (درصد)	سرعت هموژنایزر (دور در دقیقه)	میانگین اندازه ذرات (نانومتر)	سطح مخصوص ذرات (میلی‌متر مربع/میلی‌لیتر)	عدد اسپان	پتانسیل زتا (میلی‌ولت)
۱۱ (بهینه)	۱	۱	۷۰۰۰	۵۱۴±۰/۴۰	۰/۰۱	۰/۸۱	-۳۷/۸۰±۰/۰۷
۶ (مرکزی)	۳	۳	۹۰۰۰	۵۹/۲۰±۳۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۴۱	-۳۶/۲۰±۱/۵۰
۱۰ (غیربهینه)	۵	۱	۱۱۰۰۰	۱۱۲/۱۰±۹/۳۰	۰/۰۵	۰/۴۷	-۴۹/۱۰±۳/۹۰

میانگین ± انحراف معیار

اندازه‌گیری پتانسیل زتا

مقادیر پتانسیل زتا در ۳ تیمار در محدوده ۳۶/۲- تا ۴۹/۱- اندازه‌گیری شد. بیشترین میزان پتانسیل زتا مربوط به تیمار ۱۰ است، بنابراین این تیمار از لحاظ بار سطحی امولسیون و دافعه الکترواستاتیک بین ذرات شرایط خوبی دارد که از به‌هم‌چسبیدن و کلوخه‌شدن ذرات در امولسیون جلوگیری می‌کند.

اندازه‌گیری روغن سطحی

نتایج اندازه‌گیری روغن سطحی در جدول (۴) آورده شده است. نتایج حاصل از آزمون آنالیز واریانس (جدول ۵)

پاسخ روغن سطحی نانوپوشینه‌های تولیدی نشان دادند تغییرات درصد روغن ماهی بیشترین تأثیر را بر میزان روغن سطحی نانوذرات داشته است ($P < 0/01$). پارامتر خطی درصد روغن ماهی و درصد بیوپلیمر کل در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شده است ($P < 0/01$). در این سطح پاسخ روغن ماهی و بیوپلیمر کل به یکدیگر وابسته‌اند زیرا اثرات متقابل آنها در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار شد ($P < 0/05$). اثر روغن ماهی بر سطح پاسخ دارای بالاترین مقدار F-value بوده است. اثر متقابل سرعت هموژنایزر و درصد بیوپلیمر کل در سطح احتمال ۹۵ درصد نیز معنی‌دار می‌باشد ($P < 0/05$).

جدول ۴- نتایج اندازه‌گیری روغن سطحی و روغن پوشینه‌شده و کارایی ریزپوشانی نانوپوشینه‌های تولیدی

تیمار	روغن ماهی (درصد)	بیوپلیمر کل (درصد)	سرعت هموژنایزر (دور در دقیقه)	روغن سطحی (گرم/۱۰۰ گرم)	روغن پوشینه‌شده (گرم/۱۰۰ گرم)	کارایی ریزپوشانی (درصد)
۱	۳	۳	۹۰۰۰	۱/۳۲±۰/۰۴	۲۹/۱۰±۰/۱۰	۹۵/۶۵±۰/۱۰
۲	۱	۱	۱۱۰۰۰	۰/۵۵±۰/۵۵	۷/۷۲±۰/۶۰	۹۸/۷۶±۰/۱۰
۳	۳	۵	۹۰۰۰	۱/۲۸±۱/۶۰	۳۲/۵۷±۱/۲۰	۹۴/۴۰±۱/۳۵
۴	۵	۵	۱۱۰۰۰	۳/۰۸±۰/۰۰	۲۰/۱۲±۰/۲۰	۸۵/۸۱±۱/۴۰
۵	۵	۳	۹۰۰۰	۶/۴۲±۰/۲۰	۳۵/۳۸±۰/۷۰	۸۴/۳۶±۰/۲۰

ادامه جدول ۴- نتایج اندازه‌گیری روغن سطحی و روغن پوشینه‌شده و کارایی ریزپوشانی نانوپوشینه‌های تولیدی

تیمار	روغن ماهی (درصد)	بیوپلیمر کل (درصد)	سرعت هموژنایزر (دور در دقیقه)	روغن سطحی (گرم/۱۰۰ گرم)	روغن پوشینه‌شده (گرم/۱۰۰ گرم)	کارایی ریزپوشانی (درصد)
۶	۳	۳	۹۰۰۰	۱/۳۶±۰/۲۰	۲۸/۹۴±۰/۴۰	۹۶/۱۳±۰/۱۰
۷	۳	۳	۷۰۰۰	۰/۹۲±۰/۰۴	۱۶/۱۷±۰/۰۶	۹۴/۵۸±۰/۰۶
۸	۳	۳	۹۰۰۰	۳/۱۸±۰/۱۰	۲۸/۲۹±۰/۸۰	۸۹/۵۳±۰/۰۶
۹	۵	۵	۷۰۰۰	۵/۳۰±۰/۱۰	۳۸/۰۳±۰/۰۷	۸۷/۷۶±۰/۰۴
۱۰	۵	۱	۱۱۰۰۰	۱۳/۸۸±۰/۰۷	۱۷/۶۰±۰/۰۵	۵۶/۲۹±۰/۱۲
۱۱	۱	۱	۷۰۰۰	۰/۳۰±۰/۰۱	۱۴/۷۷±۰/۰۹	۹۷/۹۷±۰/۰۶
۱۲	۱	۵	۱۱۰۰۰	۰/۲۵±۰/۰۵	۰۸/۴۴±۰/۰۲	۹۶/۰۹±۰/۰۵
۱۳	۳	۳	۹۰۰۰	۲/۸۵±۰/۰۳	۱۹/۱۱±۰/۰۷	۸۶/۹۹±۰/۰۵
۱۴	۱	۳	۹۰۰۰	۲/۴۸±۰/۱۰	۱۱/۵۲±۰/۰۴	۸۲/۲۶±۰/۱۳
۱۵	۳	۱	۹۰۰۰	۴/۸۸±۰/۰۳	۲۰/۵۲±۰/۰۲	۸۰/۷۶±۰/۰۲
۱۶	۳	۳	۹۰۰۰	۱/۶۸±۰/۰۲	۲۷/۶۸±۰/۰۳	۹۴/۲۵±۰/۰۹
۱۷	۳	۳	۱۱۰۰۰	۱/۴۰±۰/۰۱	۲۸/۰۸±۰/۰۲	۹۵/۲۵±۰/۰۶
۱۸	۵	۱	۷۰۰۰	۹/۶۳±۰/۰۴	۲۵/۴۰±۰/۰۸	۷۲/۴۹±۰/۰۲
۱۹	۳	۳	۹۰۰۰	۲/۴۵±۰/۰۴	۳۰/۷۴±۰/۰۷	۹۲/۶۲±۰/۰۱
۲۰	۱	۵	۷۰۰۰	۰/۹۰±۰/۰۱	۱۴/۴۷±۰/۰۲	۹۳/۵۸±۰/۰۸

جدول ۵- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده نانوپوشینه‌های تولیدی

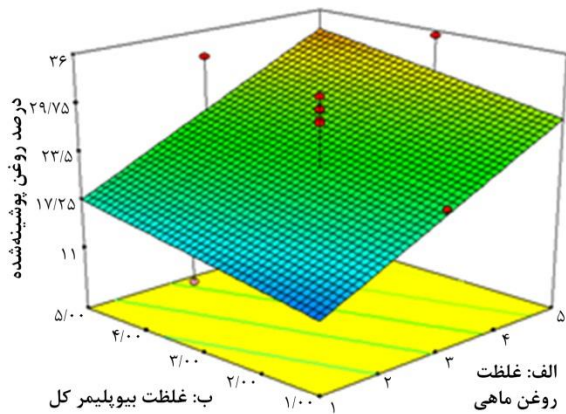
مدل‌ها (منبع)	روغن سطحی		روغن پوشینه‌شده		کارایی ریزپوشانی	
	مجموع مربعات	سطح احتمال	مجموع مربعات	سطح احتمال	مجموع مربعات	سطح احتمال
مدل	۱۱۴/۴۷	۰/۰۰۰۱	۷۸۲/۲۷	۰/۰۰۶۸	۱۶۶۰/۹۷	۰/۰۰۶۵
A	۳۴/۰۳	۰/۰۰۰۱	۶۳۳/۵۸	۰/۰۰۱۷	۶۹۷/۸۱	۰/۰۰۱۰
B	۳۴/۰۳	۰/۰۰۰۳	۷۶/۳۹	۰/۲۰۹۲	۲۷۶/۵۲	۰/۰۱۶۱
C	۰/۴۴	۰/۵۵۷۱	۷۲/۳۰	۰/۲۲۱۲	۱۸/۹۵	۰/۴۶۶۸
AB	۲۹/۷۴	۰/۰۰۰۶	-	-	۳۱۵/۹۵	۰/۰۱۱۵
AC	۰/۷۴	۰/۴۵۳۱	-	-	۵۹/۷۶	۰/۲۰۸۸
BC	۵/۹۹	۰/۰۳۹۱	-	-	۳۳/۶۰	۰/۳۳۷۵
A ²	۱۳/۸۵	۰/۰۰۶۹	-	-	-	-
B ²	۲/۱۳	۰/۲۱۳۰	-	-	-	-
C ²	۳/۰۰	۰/۱۴۵۷	-	-	-	-
باقی‌مانده	۱۲/۰۶	-	۷۱۳/۸۱	-	۳۳۱/۱۲	-
عدم برازش	۸/۸۸	۰/۱۴۲۷	۶۲۸/۹۴	۰/۰۹۵۳	۲۶۵/۷۷	۰/۰۷۴۹
خطای خالص	۳/۱۹	-	۸۴/۸۷	-	۶۵/۳۵	-
مجموع مربعات کل	۲۲۵/۰۶	-	۱۴۹۶/۰۸	-	۱۹۹۲/۱۰	-

معنی‌دار بودن اثرات خطی، متقابل و درجه‌دو متغیرها بر پاسخ روغن سطحی به‌خوبی در مدل به‌دست‌آمده جدول (۶) مشهود است. شکل (۱) نمودار اثر متقابل متغیرهای روغن ماهی و بیوپلیمر کل بر تغییرات روغن سطحی نانوپوشینه تولیدی را نشان داده است. طبق نمودار کمترین میزان روغن سطحی نانوپوشینه تولیدی زمانی مشاهده می‌شود که روغن ماهی در حداقل درصد

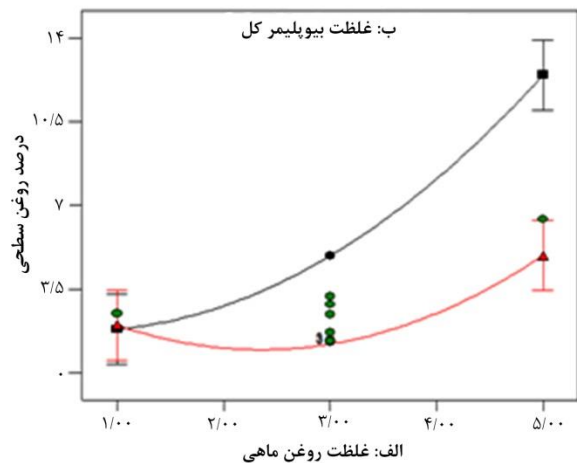
خود به‌کار رود. با افزایش درصد روغن ماهی و کاهش درصد بیوپلیمر کل میزان روغن سطحی نانوذرات افزایش‌یافته است.

جدول ۶- مدل‌های برازش داده‌شده برای پارامترهای مورد اندازه‌گیری نانوپوشینه‌های تولیدی

ردیف	متغیر اندازه‌گیری شده	مدل به‌دست‌آمده	R^2	$R^2\text{-adj}$
۱	روغن سطحی	$Y=2/17+3/38A-1/84B-1/93AB-0/92BC+2/24A^2$	۰/۹۵	۰/۹۰
۲	روغن پوشینه‌شده	$Y=22/69+7/96A$	۰/۵۲	۰/۴۳
	کارایی ریزپوشانی	$Y=91/70-8/35A+5/26B+6/28AB$	۰/۸۳	۰/۶۸



شکل ۲- نمودار سه‌بُعدی اثر روغن ماهی و بیوپلیمر کل بر مقدار روغن پوشینه‌شده نانوپوشینه‌های تولیدی



شکل ۱- نمودار اثر متقابل متغیرهای روغن ماهی و بیوپلیمر کل بر تغییرات روغن سطحی نانوپوشینه‌های تولیدی

کارایی ریزپوشانی

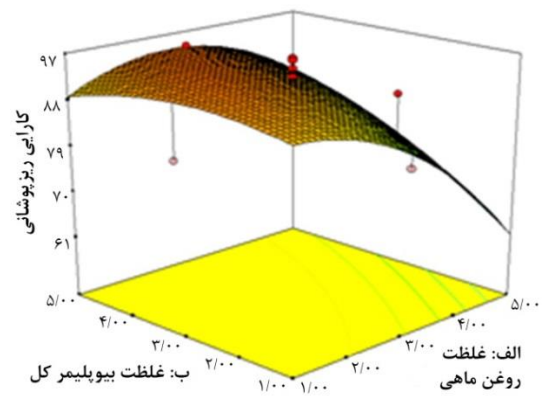
مقادیر کارایی ریزپوشانی در جدول (۴) آورده شده است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس (جدول ۵) پاسخ کارایی نشان داده است، دو پارامتر درصد روغن ماهی ($P<0/01$) و درصد بیوپلیمر کل ($P<0/05$) بر میزان تغییرات کارایی ریزپوشانی به‌صورت خطی مؤثر می‌باشند، نتایج آماری نشان داد که پارامتر خطی درصد روغن ماهی بیشترین تأثیر را بر کارایی ریزپوشانی داشت. همچنین روغن ماهی و بیوپلیمر کل در این سطح پاسخ دارای اثر متقابل هستند ($P<0/05$). شکل (۳) نمودار سه‌بُعدی اثر درصد روغن ماهی و درصد بیوپلیمر کل را بر میزان تغییرات پاسخ کارایی ریزپوشانی نشان می‌دهد. با افزایش درصد روغن ماهی نسبت به بیوپلیمر کل میزان کارایی ریزپوشانی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است.

اندازه‌گیری روغن پوشینه‌شده

نتایج اندازه‌گیری روغن پوشینه‌شده در جدول (۴) آورده شده است. نتایج حاصل از آزمون آنالیز واریانس (جدول ۵) پاسخ روغن پوشینه‌شده نشان می‌دهد پارامتر خطی درصد روغن ماهی بر میزان تغییرات روغن پوشینه‌شده در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شده است ($P<0/01$). در شکل (۲) نمودار سه‌بُعدی اثر روغن ماهی و بیوپلیمر کل بر مقدار روغن پوشینه‌شده نانوپوشینه‌های تولیدی نمایش داده شدند. در شکل (۲) خط انحناي غلظت روغن ماهی دارای شیب تند است که نشان می‌دهد بسیار بر سطح پاسخ (روغن پوشینه‌شده) اثرگذار است و سطح پاسخ به این متغیر بسیار حساس می‌باشد ($P<0/01$)، به‌طوری‌که با افزایش درصد روغن ماهی و درصد بیوپلیمر کل میزان روغنی که توسط دیواره‌های پلیمری احاطه می‌شوند نیز افزایش یافته است. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده شد اثرات متقابل و درجه‌دو متغیرها بر پاسخ روغن پوشینه‌شده تأثیر معنی‌داری نداشتند به‌همین علت از مدل موردبررسی که در جدول (۶) آورده شد، حذف گردیدند.

بحث و نتایج

تهیه یک امولسیون پایدار با ویژگی‌های مناسب مهم‌ترین مرحله پیش از فرایند ریزپوشانی است (Hosseini, Sadeghi-Mahoonak, Jafari, Ghorbani, & Salimi, 2016). در بعضی از مطالعه‌های گزارش شده که نوع ماده دیواره بر اندازه ذرات تأثیرگذار است (Choi et al., 2010; 2008, Jafari, Assadpoor, Bhandari, & He). در پژوهش حاضر غلظت مواد دیواره تأثیری در اندازه ذرات نداشتند، اما درصد روغن ماهی و سرعت هموژنایزر بر تغییرات اندازه ذرات مؤثر بودند، به طوری که افزایش درصد روغن ماهی و سرعت هموژنایزر در دو تیمار ۶ (مرکزی) و ۱۱ (غیربینه) سبب افزایش اندازه ذرات شده است. بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات در سرعت بالای هموژنایزر احتمالاً به دلیل به وجود آمدن پدیده پیوند مجدد ذرات امولسیون^{۲۲} می‌باشد. هنگامی که ذرات درون امولسیون تحت تلاطم با شدت بالا قرار می‌گیرند، در اثر برخورد بین ذرات تمایل به پیوند مجدد بین آنها به وجود می‌آید (Jafari et al., 2008). اندازه ذرات و توزیع آنها، نقش مهمی در ویژگی‌های فیزیکی سیستم‌های کلوئیدی مانند پایداری در طی نگهداری، کدورت و ویژگی‌های رئولوژیکی دارد (Azizanbari, Ghanbarzadeh, Hamishekar, & Hosseini, 2013). اندازه میکروپوشینه‌ها به منظور کاربردهای غذایی برای جلوگیری از حساسیت دهان به مواد غذایی باید کمتر از ۱۰۰ میکرومتر باشد همچنین به منظور حفظ یکپارچگی محصول، توزیع اندازه ذرات نیز باید محدود باشد (Kaushik et al., 2015). Jafarpour همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود توسط مواد پلیمری ژلاتین و صمغ عربی و با استفاده از روش کوآسرواسیون ترکیبی نانوذرات حاوی امگا-۳ را تولید و با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) بهینه‌سازی کردند. نتایج نشان دادند، در تیمارهایی که غلظت ژلاتین ثابت بود با افزایش غلظت اسیدهای چرب امگا-۳ و هم‌زمان افزایش سرعت هموژنایزر سایز ذرات افزایش یافت که با مطالعه حاضر مطابقت داشت. Zhou, Zhu, Liu, Xiao, Niu و (۲۰۱۴) ویژگی‌های میکروپوشینه‌های چند هسته‌ای روغن اسطوخودوس با استفاده از کوآسرواسیون ترکیبی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه با افزایش نسبت هسته به مواد دیواره و افزایش سرعت هموژنایزر میانگین



شکل ۳- نمودار سه‌بعدی اثر روغن ماهی و بیوپلیمرکل بر میزان کارایی ریزپوشانی

باتوجه به اطلاعات موجود در جدول (۶)، جدای از فاکتور روغن پوشینه‌شده، مدل‌های به دست آمده و برازش داده شده در تمامی سطح پاسخ‌های مورد بررسی در آزمایش (متغیرهای وابسته)، صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و ضریب تبیین اصلاح شده بالا برخوردار بود. مقادیر ضریب تبیین (R^2) به عنوان درجه‌ای از تناسب برازش برای تمامی مدل‌های ارائه شده در توصیف تغییرات پاسخ به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل، قدرت توضیح دهنده تغییرات کل داده‌ها را بیان نمود. مشاهده‌های حاصل از انجام آزمایش‌ها، بیانگر همبستگی خوب بین نتایج به دست آمده با روش تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده با روش آماری است (جدول ۶ و ۷).

جدول (۷) پارامترهای بهینه را برای متغیرهای مستقل و پاسخ‌های وابسته نشان داده است. نرم‌افزار دیزاین اکسپرت بهترین مقادیر استفاده از متغیرهای مستقل به منظور تولید نانوپوشینه‌های تولیدی، ۱ درصد روغن ماهی، ۱ درصد بیوپلیمرکل و سرعت هموژنایزر ۷۰۰ دور در دقیقه در نظر گرفته است. باتوجه به مقادیر ذکر شده در جدول (۷)، نتایج به دست آمده در شرایط آزمایشگاهی برای هر پاسخ نزدیک به مقادیر پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار می‌باشد.

جدول ۷ - مقادیر بهینه پیش‌بینی شده و واقعی برای متغیرهای مستقل و سطح پاسخ‌ها

مقادیر	روغن سطحی	روغن پوشینه شده	کارایی ریزپوشانی
پیش‌بینی شده	۰/۲۵	۱۸/۰۱	۹۶/۶۹
واقعی	۰/۳۰	۱۴/۷۷	۹۷/۹۷

²² Re-coalescence

تعیین وضعیت الکتریکی سطح ذرات است چراکه نشان‌دهنده میزان تجمع بار در لایه غیرمتحرک و شدت جذب یون‌های مخالف روی سطح ذره است و بنابراین بار ذرات برحسب پتانسیل زتا گزارش می‌شود. بالا بودن پتانسیل زتای ذرات کلئیدی موجب بالارفتن نیروی دافعه الکترواستاتیک و در نتیجه افزایش پایداری فیزیکی سیستم می‌شود. عوامل مختلفی از جمله قدرت یونی، نوع و غلظت بیوپلیمرهای پلی‌ساکارییدی و پروتئینی مورد استفاده و نسبت بین آنها روی میزان بار سطحی و پتانسیل زتا کمپلکس حاصل مؤثر است. طبق نتایج به دست آمده در هر سه تیمار انتخابی، میزان پتانسیل زتا در خارج از محدوده ± 30 میلی‌ولت بود بنابراین امولسیون‌ها از لحاظ بار سطحی میکروپوشینه‌ها در محیط آبی شرایط مناسبی را نشان داده‌اند (García-Moreno et al., 2016). Razavi و Kadkhodaei, Koocheki, Mohammadzadeh (۲۰۱۳) اثر مخلوط پروتئین آب‌پنیر و صمغ دانه مرو را بررسی کردند. نتایج نشان داد در حضور ۰/۱ درصد صمغ بار منفی ذرات امولسیون افزایش یافته که دلیل آن تجمع بار منفی بیشتر در امولسیون است.

در مطالعه حاضر میزان روغن سطحی در مقادیر ۰/۳ تا ۱۳/۸۸ (گرم در ۱۰۰ گرم نانوپوشینه) در تیمارهای مختلف به دست آمد باتوجه به آنالیزهای آماری صورت گرفته درصد روغن ماهی بیشترین تأثیر را بر تغییرات پاسخ روغن سطحی نشان داده است، در این پژوهش تیمارهایی که در آنها از روغن بیشتری جهت تهیه امولسیون استفاده شده بود در مقایسه با تیمارهای با درصد کمتر روغن، میزان بیشتری روغن در سطح ذرات حضور داشت. نتایج حاصل از بررسی روغن سطحی و کارایی ریزپوشانی در این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعه Sharifi (۲۰۱۶) مطابقت داشت؛ در مطالعه آنها روغن ماهی و اسانس میخک در کوآسروای حاصل از برهم‌کنش بین ژلاتین ماهی و صمغ عربی درون‌پوشانی شد، مطابق با نتایج، روغن سطحی با افزایش درصد روغن در سطح نانوپوشینه‌ها افزایش و کارایی ریزپوشانی کاهش یافت. در این مطالعه میزان کارایی ریزپوشانی بین ۶۵ تا ۹۸ درصد اندازه‌گیری شد. همچنین Liu و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود ریزپوشانی روغن بذر کتان را با استفاده از ژلاتین و صمغ عربی بررسی کردند، طبق مشاهده مقدار روغن پوشینه‌نشده با افزایش غلظت بیوپلیمرها از ۱ به ۲

اندازه ذرات افزایش یافت. Rezaei, Zandi, Hosseini و Farahmandghavi (۲۰۱۳) در پژوهش خود با روش دومرحله‌ای ریزپوشانی نانوذرات اسانس پونه‌کوهی در کیتوزان را در شرایط آزمایشگاهی موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند میانگین اندازه نانوذرات کیتوزان و نانوذرات اسانس پونه‌کوهی بارگیری شده در کیتوزان در محدوده بین ۴۰ تا ۸۰ نانومتر قرار دارند. اندازه نانوذرات کیتوزان کوچک‌تر از نانوذرات اسانس پونه‌کوهی می‌باشد که ناشی از بارگیری اسانس پونه‌کوهی در نانوذرات کیتوزان بود.

محاسبه شاخص اسپان یکی از روش‌های رایج برای بیان دامنه توزیع اندازه ذرات است. پایین بودن این شاخص نشان‌دهنده توزیع یکنواخت و بالا بودن آن بیان‌گر عدم یکنواختی در توزیع اندازه ذرات است (Alipour, Kocheiki, Kadkhodai, & Varidi, 2015). در مطالعه حاضر کمترین شاخص اسپان مربوط به تیمار ۶ (مرکزی) می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت توزیع اندازه ذرات در تیمار ۶ نسبت به تیمار ۱۱ (بهینه) و ۱۰ (غیربهینه) از یکنواختی بیشتری برخوردار است. به منظور بررسی پایداری امولسیون سطح ویژه اندازه ذرات موردبررسی قرار گرفت. افزایش سطح ویژه ذرات نشان‌دهنده افزایش ثبات امولسیون است که هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد، پایداری امولسیون بیشتر است (Alipour et al., 2015). نتایج نشان داد تیمار ۶ (مرکزی) با داشتن بیشترین میزان سطح ویژه (۰/۱ میلی‌متر مربع بر میلی‌لیتر) نسبت به ۲ تیمار دیگر، از پایداری بیشتری برخوردار می‌باشد. Zhang, Chung و Pan (۲۰۱۱) در مطالعه خود روغن‌زیتون را از طریق مواد دیواره‌ای ژلاتین و صمغ عربی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) موردبررسی قرار دادند. در مطالعه آنها عدد اسپان در محدوده ۱/۵۶ تا ۲/۵۹ اندازه‌گیری شد. باتوجه به اندیس P عدد اسپان تحت تأثیر غلظت روغن‌زیتون و بیوپلیمر کل قرار داشت. نتایج نشان دادند در حضور میزان بالای بیوپلیمر یا میزان کمتری روغن‌زیتون به دلیل توانایی امولسیفایری بیشتر، قطره‌های امولسیونی پایدار و یکنواخت تشکیل شده است.

در یک سیستم کلئیدی، اختلاف پتانسیل بین لایه‌های یونی غیرمتحرک (لایه استرن) و لایه متحرک (لایه انتشار) در اتمسفر یونی اطراف ذرات باردار، پتانسیل زتا نامیده می‌شود. پتانسیل زتا بهترین شاخص برای

در مطالعه Barrow و Adhikari, Wang (۲۰۱۴) بالاترین عملکرد کوآسرواسیون ترکیبی در pH=۴/۷ و در یک ژلاتین با نسبت ۱:۱۵ به هگزامتافسفات سدیم به دست آمد که تحت این شرایط بهینه، میزان کارایی ریزپوشانی ۹۸/۵۶ درصد اندازه گیری شد.

نتیجه گیری

هدف از این پژوهش ریزپوشانی همزمان روغن ماهی و ویتامین E به منظور غنی سازی نانوپوشینه ها در ماتریس پلیمری ژلاتین و صمغ عربی با استفاده از روش کوآسرواسیون ترکیبی بود. بررسی نتایج نشان دادند سرعت هموژنایزر و درصد روغن ماهی در میانگین اندازه ذرات مؤثرند. ریزپوشانی روغن ماهی و ویتامین E با استفاده از روش کوآسرواسیون ترکیبی در ماتریس پلیمری ژلاتین و صمغ عربی قادر است ذراتی در اندازه نانو تولید کند. همچنین آنالیز آماری نتایج نشان داده است که با استفاده از مقادیر بهینه متغیرهای آزمایشی، ۱ درصد روغن ماهی، ۱ درصد بیوپلیمر کل و سرعت هموژنایزر ۷۰۰۰ دور در دقیقه می توان نانوذراتی مطلوب با کمترین روغن سطحی و بیشترین میزان کارایی ریزپوشانی تولید کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از تلاش و همکاری صمیمانه سرکار خانم مهندس مهرابی و سرکار خانم مهندس شریفی در راهنمایی انجام فعالیت های آزمایشگاهی و آقای مهندس امیرحسین یادگاری نائینی در آموزش نرم افزار آماری این پژوهش تشکر و قدردانی به عمل آورند.

درصد افزایش یافته است. در این مطالعه میکروپوشینه های ژلاتین - صمغ عربی با نسبت ۱:۱ هسته به دیواره تولید شدند و کارایی ریزپوشانی در این پودرها ۸۴ درصد گزارش شد. فاکتور اصلی اثرگذار بر کارایی ریزپوشانی میکروپوشینه سازی روغن ها و طعم ها، نوع مواد دیواره، ویژگی مواد هسته (غلظت و فراریت)، ویژگی امولسیون (مواد جامد کل، ویسکوزیته و اندازه ذرات) و شرایط خشک شدن می باشد؛ بنابراین بهینه سازی فرایند خشک کردن دارای اهمیت است (Jafari et al., 2008). در سال های اخیر به مطالعه هایی که با هدف بهبود کارایی ریزپوشانی در جهت خشک کردن طعم ها و روغن های غذایی انجام شده، توجه ویژه ای شده است. این بهبود از طریق به حداقل رساندن مقدار روغن پوشینه نشده ای که در سطح ذرات حضور دارد صورت می گیرد که در نتیجه از اکسیداسیون چربی و ازدست رفتن فراریت جلوگیری کرده و سبب افزایش عمر مفید محصول می شود (Mehrad, Shabanpour, Jafari, & Pourashouri, 2015). در مطالعه حاضر میزان کارایی ریزپوشانی در تیمارهای مختلف بین ۵۶/۲۹ تا ۹۸/۷۶ درصد اندازه گیری شد که مطابق با آنالیزهای آماری انجام شده درصد روغن ماهی بیشترین تأثیر را بر تغییرات این سطح پاسخ نشان داده است، به طوری که با افزایش درصد روغن ماهی و کاهش درصد بیوپلیمر کل میزان کارایی ریزپوشانی کاهش یافت. در مطالعه Karaca, Nickerson, و Low (۲۰۱۳) در بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی روغن بذر کتان ریزپوشانی شده با استفاده از مواد پروتئینی و مالتودکسترین مشاهده شد، با افزایش درصد روغن بذر کتان در امولسیون از ۵/۳ تا ۲۱ درصد میزان کارایی ریزپوشانی از ۸۹ تا ۵۳ درصد کاهش یافت. در این مطالعه میزان کارایی ریزپوشانی از ۴۶/۲ تا ۹۲/۱ درصد قرار داشت.

منابع

- Alipour, A., Kochehi, A., Kadkhoda i, R., & Varidi, M. (2015). The effect of Alyssum homolocarpum seed gum-whey protein concentrate on stability of oil-in-water emulsion. *Food Science and Technology*, 12(48), 163-174. (in Persian)
- Arab-Tehrany, E., Jacquot, M., Gaiani, C., Imran, M., Desobry, S., & Linder, M. (2012). Beneficial effects and oxidative stability of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. *Trends in Food Science & Technology*, 25(1), 24-33. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.12.002>

- Aziz, S., Gill, J., Dutilleul, P., Neufeld, R., & Kermasha, S. (2014). Microencapsulation of krill oil using complex coacervation. *Journal of Microencapsulation*, 31(8), 774-784. doi:<https://doi.org/10.3109/02652048.2014.932028>
- Azizanbari, C., Ghanbarzadeh, B., Hamishekar, h., & Hosseini, M. (2013). Gelan-Caseinate Nanocomplexes as Carriers of Omega-3 Fatty Acids: investigation of Particle Size, Rheology and Encapsulation Efficiency. *Journal of Technology and Food Preservation*, 5(2), 19-42 (in Persian).
- Bahrani, S., Mohammad Hasani, Z., Ghanbarzadeh, B., & Hamishekar, H. (2013, October). *Investigating the effect of pH on particle size, stability and capsulation efficiency of bio polymer nano-complexes of casein-pectin containing omega-3*. Paper presented at the 21st National Congress of Food Science and Technology, Shiraz University. (in Persian). http://www.civilica.com/Paper-NCFOODI21-NCFOODI21_926
- Chang, P.-S., Lee, J., & Lee, J. L. J. (2005). Development of a new colorimetric method determining the yield of microencapsulation of α -tocopherol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(19), 7385-7389. doi:<https://doi.org/10.1021/jf051015p>
- Choi, M.-J., Ruktanonchai, U., Min, S.-G., Chun, J.-Y., & Soottitantawat, A. (2010). Physical characteristics of fish oil encapsulated by β -cyclodextrin using an aggregation method or polycaprolactone using an emulsion-diffusion method. *Food Chemistry*, 119(4), 1694-1703. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.052>
- García-Moreno, P. J., Guadix, A., Guadix, E. M., & Jacobsen, C. (2016). Physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions stabilized with fish protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 203, 124-135. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.073>
- Garg, M., Wood, L., Singh, H., & Moughan, P. (2006). Means of delivering recommended levels of long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in human diets. *Journal of Food Science*, 71(5), R66-R71. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00033.x>
- Ghorbani Hassan Sariei, A., Shahidi, F., Bahadorghousi, H., & Motamedzadegan, A. (2012, October). *Potentials of different omega-3 fatty acids in food enrichments*. Paper presented at the 2nd Food Security Conference, Islamic Azad University, Savadkuh Branch. (in Persian) https://www.civilica.com/Paper-FSS02-FSS02_320.html
- Hogan, S. A., McNamee, B. F., O'Riordan, E. D., & O'Sullivan, M. (2001). Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. *International Dairy Journal*, 11(3), 137-144. doi:[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00091-7](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00091-7)
- Hosseini, S., Sadeghi-Mahoonak, A., Jafari, S. m., Ghorbani, M., & Salimi, A. (2016). Optimization of Emulsion of Orange Skin Oil - Mucilage of Grain by Using RSM and Investigating the Stability of obtained microencapsulated Powder. *Journal of Food Science & Technology*, 13(59), 171-180 (in Persian).
- Hosseini, S. F., Zandi, M., Rezaei, M., & Farahmandghavi, F. (2013). Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: preparation, characterization and in vitro release study. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 50-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.031>
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., Bhandari, B., & He, Y. (2008). Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Research International*, 41(2), 172-183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.002>
- Jafarpour, S. A., Esfahani, R., & Jafari, S. M. (2016). Efficiency evaluation of nanoencapsulation of omega-3 fatty acids with gelatin-Arabic gum complex using coaservation technique. *Scientefic Journal of Iranian Fisheries*, 25(2), 29-42 (in Persian).
- Karaca, A. C., Nickerson, M., & Low, N. H. (2013). Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil. *Food Chemistry*, 139(1-4), 448-457. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.040>
- Kaushik, P., Dowling, K., Barrow, C. J., & Adhikari, B. (2015). Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. *Journal of Functional Foods*, 19, 868-881. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.029>
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2006). Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. *Food Research International*, 39(4), 449-457. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.09.008>

- Lin, C.-Y., & Lin, B.-Y. (2015). Fatty acid characteristics of isochrysis galbana lipids extracted using a microwave-assisted method. *Energies*, 8(2), 1154-1165. doi:<https://doi.org/10.3390/en8021154>
- Liu, S., Low, N., & Nickerson, M. T. (2010). Entrapment of flaxseed oil within gelatin-gum arabic capsules. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(7), 809-815. doi:<https://doi.org/10.1007/s11746-010-1560-7>
- Mehrad, B., Shabanpour, B., Jafari, S. M., & Pourashouri, P. (2015). Characterization of dried fish oil from Menhaden encapsulated by spray drying. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 8(1), 57-69.
- Mohammadzadeh, H., Koocheki, A., Kadkhodaei, R., & Razavi, S. M. (2013). Physical and flow properties of d-limonene-in-water emulsions stabilized with whey protein concentrate and wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum. *Food Research International*, 53(1), 312-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.04.028>
- Pourashouri, p. (2012). *Evaluation of the physicochemical and oxidative stability of microcapsules containing oil fish and omega-3*. (Unpublished doctoral dissertation), Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources (in Persian),
- Sharifi, A. (2016). *Microencapsulations of fish oil and clove oil via coaservation method by using gelatin of fish and gum Arabic*. (Unpublished master's thesis), Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, (in Persian)
- Wang, B., Adhikari, B., & Barrow, C. J. (2014). Optimisation of the microencapsulation of tuna oil in gelatin–sodium hexametaphosphate using complex coacervation. *Food Chemistry*, 158, 358-365. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.135>
- Xiao, Z., Liu, W., Zhu, G., Zhou, R., & Niu, Y. (2014). Production and characterization of multinuclear microcapsules encapsulating lavender oil by complex coacervation. *Flavour and Fragrance Journal*, 29(3), 166-172. doi:<https://doi.org/10.1002/ffj.3192>
- Zhang, K., Zhang, H., Hu, X., Bao, S., & Huang, H. (2012). Synthesis and release studies of microalgal oil-containing microcapsules prepared by complex coacervation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 89, 61-66. doi:<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.08.023>
- Zhang, Z.-Q., Pan, C.-H., & Chung, D. (2011). Tannic acid cross-linked gelatin–gum arabic coacervate microspheres for sustained release of allyl isothiocyanate: Characterization and in vitro release study. *Food Research International*, 44(4), 1000-1007. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.044>
- Zuidam, N. J., & Shimon, E. (2010). Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In Zuidam, N., & Nedovic, V. (Eds.), *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing* (pp. 3-29): Springer, New York, NY.

Integrated Encapsulation of Fish Oil and Vitamin E with Complex Coaservation Technique and its Efficiency Optimization by Response Surface Method (RSM)

Fatemeh Mirzaei¹, Seyed Ali Jafarpour^{2*}

1- M.Sc. 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)

Abstract

In this study, fish oil and vitamin E were nanoencapsulated using polymeric materials of gelatin and Arabic gum as wall materials applying complex coaservation technique and optimization process with the aid of the response surface method (RSM) in form of central composite design (CCD). The effects of the three independent variables including fish oil amount (1, 3 and 5%), biopolymer amount (1, 3 and 5%) and homogenizer speed (7000, 9000 and 11000 rpm) on dependent variables such as surface oil, encapsulated oil, encapsulation efficiency and particle size were investigated. The results showed that homogenization speed of 7000 rpm is not suitable for producing nanocapsules below 100 nm. In addition, the percentage of fish oil and the speed of homogenizer are effective on the size of the produced nanocapsules. Also, produced nanocapsules in treatments in which a higher percentage of oil was used compared to treatments with lower oil percentages, showed higher surface oil. The encapsulation efficiency was measured between 56.29% and 98.76%. In this research, optimum treatment was introduced as the one with 1% fish oil, 1% total biopolymer and 7000 rpm homogenizer speed in which its encapsulation efficiency was recorded as 97.97%.

Keywords: Complex Coaservation, Encapsulation, Fish Oil, Gelatin, Vitamin E

مطالعه تأثیر فشار در عرض غشا، pH و غلظت ماده فعال سطحی آنیونی SDS بر عملکرد فرایند اولترافیلتراسیون بهبودیافته با مایسل (MEUF) در تصفیه پساب لبنی به روش سطح پاسخ

علی آراسته نوده^۱، سوسن خسرویاری^{۲*}، وحید حکیمزاده^۳

- ۱- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
* نویسنده مسئول (susankhosroyar@yahoo.com)
۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۱

واژه‌های کلیدی

اولترافیلتراسیون بهبودیافته
پساب لبنی
سطح پاسخ
عامل فعال سطحی
مایسل

عوامل فعال سطحی به علت توانایی در به دام انداختن ترکیبات آلی سمی و فلزات سنگین در تصفیه پساب‌های صنعتی به طور گسترده‌ای در بهبود فرایندهای غشایی به کار می‌روند. در این تحقیق به جهت بهبود روش اولترافیلتراسیون در تصفیه پساب لبنی به منظور کاهش اکسیژن لازم برای اکسیداسیون شیمیایی ترکیبات آلی (COD)، مواد جامد نامحلول کل (TDS)، کدورت و بهبود شار غشا از روش اولترافیلتراسیون بهبودیافته با مایسل (MEUF) استفاده شد. اهمیت سه فاکتور عملیاتی غلظت عامل فعال سطحی آنیونی (SDS)، اختلاف فشار و pH و اثرات متقابل آنها با استفاده از روش پاسخ سطح و طراحی باکس - بنکن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که فاکتور غلظت عامل فعال سطحی آنیونی به عنوان یکی از تأثیرگذارترین فاکتورها، به دلیل تشکیل لایه پلاریزاسیون غلظتی و افزایش تعداد مایسل‌ها اثر منفی بر شار تراوه داشته اما از سوی دیگر دفع شاخص‌های آلودگی را بهبود داد. همچنین در فشارهای عملیاتی بالا به دلیل فشرده شدن مایسل‌ها میزان دفع شاخص‌های آلودگی کاهش یافت. علاوه بر آن افزایش pH باعث افزایش میزان دفع COD، TDS و کدورت گردید.

مقدمه

باشند (Crites & Tchobanoglous, 1998). این روش در جداسازی ماکرومولکول‌هایی نظیر پروتئین‌ها از حلال‌های با جرم مولکولی پایین نیز کاربرد دارد. حفره‌های لایه پایینی غشا به طور نسبی بزرگ‌تر از لایه سطحی بوده و هنگامی که حلال درون غشا جریان می‌یابد، گونه‌های باقی‌مانده روی سطح غشای متمرکز شده و مقاومتی در برابر جریان ایجاد می‌کنند. در فرایند محلول‌های سوسپانسیونی، ذره‌ها به صورت لایه کیک متخلخل روی سطح غشا جمع می‌شوند. فرایند UF به خواص

اولترافیلتراسیون^۱ غشایی یکی از روش‌هایی است که در جداسازی ترکیبات مختلف از محلول‌ها به کار می‌رود. دامنه نیروی محرکه لازم برای انتقال از غشا UF به اختلاف فشاری در حدود ۱۰-۲ بار، نیاز دارد. غشاهای UF قادر به جداسازی ترکیباتی هستند که دارای وزن مولکولی در محدوده ۵۰۰۰۰-۳۰۰ دالتون بوده و از اندازه حفره‌های غشا در دامنه ۱۰۰-۱۰ انگسترم بزرگ‌تر

¹ Ultrafiltration

فیزیکی غشا، مانند نفوذپذیری، ضخامت، متغیرهای فرایند مانند نوع خوراک و غلظت آن، فشار سیستم، سرعت جریان روی سطح غشا و دما بستگی دارد. محدوده کاربردی این روش، در تصفیه ترکیبات زائد امولسیون نفت، تغلیظ ماکرومولکول‌های بیولوژیکی و تغلیظ پروتئین‌های حساس به حرارت در سوسپانسیون‌های غذایی مانند شیر است (Crites & Tchobanoglous, 1998).

اولترافیلتراسیون بهبودیافته با مایسل (MEUF^۱) یک فرایند جداسازی غشایی است که عملکرد فرایند اولترافیلتراسیون با تشکیل مایسل‌ها از عوامل فعال سطحی بهبود می‌یابد (Puasa, Ruzitah, & Sharifah, 2011). عوامل فعال سطحی به‌علت توانایی در انحلال ذره‌ها به‌طور گسترده‌ای در صنایعی همچون چسب، عوامل کفزا و خیس‌کننده، امولسیون‌کننده‌ها و غیره کاربرد دارند. این مواد علاوه بر این توانایی به‌دام‌انداختن ترکیبات آلی سمی و فلزات را دارند که استفاده از آنها را برای کاربردهای محیط‌زیستی همچون تصفیه آلاینده‌های آبی و خاکی موردتوجه قرار داده است. از این رو می‌توانند به‌طور مؤثری برای بهبود فرایندهای جداسازی نظیر اولترافیلتراسیون به‌کار روند. عوامل فعال سطحی^۲ دارای خصوصیت دوگانه (آب‌دوستی و آب‌گریزی) در ساختار مولکولی‌شان می‌باشند بدین‌ترتیب که شامل یک بخش مولکولی با جاذبه ضعیف به‌سوی حلال (گروه حلال‌گریز^۳) و یک بخش مولکولی با جاذبه قوی به‌سوی حلال (گروه حلال‌دوست^۴) هستند. دم آب‌گریز معمولاً یک زنجیره هیدروکربنی بلند یا حلقه سیکلوهاگزان است، درحالی‌که سر آب‌دوست یک گروه باردار یا قطبی بسیار قوی است. بسته به طبیعت و خواص گروه آب‌دوست، عوامل فعال سطحی به گروه‌های آنیونی (باردار منفی)، کاتیونی (باردار مثبت)، دوقطبی^۵ (باردار مثبت و منفی) و غیریونی (بدون بار یونی آشکار) تقسیم‌بندی می‌شوند (Landaburu-Aguirre, 2012).

قاعده اصلی جداسازی در این فرایند این است که عوامل فعال سطحی (آنیونی، کاتیونی یا غیریونی) به جریان آلاینده آبی (پساب) اضافه می‌شوند. مونومرهای عامل فعال سطحی تجمع پیدا کرده و در غلظت بحرانی مایسل (CMC^۶) کمپلکس تشکیل می‌دهند. تشکیل کمپلکس سبب افزایش اندازه مولکول‌های آلاینده (قطر هیدرودینامیکی مایسل بزرگ‌تر از قطر حفره‌های غشای اولترافیلتراسیون است) موجود در پساب می‌شود. بنابراین ترکیبات و ذراتی که در دام مایسل‌ها و مونومرها افتاده‌اند توسط غشا بازداشته‌شده و از آن عبور نخواهند کرد. در این فرایند بازده جداسازی آلاینده و شار تراوه وابسته به ویژگی‌ها و مشخصات غشا و آلاینده و همچنین شرایط عملیاتی مختلف دارد. ویژگی منحصربه‌فرد فرایند MEUF آن است که می‌توان هم‌زمان بازده جداسازی بالایی در حد فرایند اسمز معکوس و شار تراوه بالایی در حد فرایند اولترافیلتراسیون را ایجاد نمود (Landaburu-Aguirre, 2012). از آنجایی‌که عملکرد دفع مواد با جرم مولکولی پایین طی فرایند MEUF تقریباً شبیه فرایند اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون است، لذا این فرایند می‌تواند به‌عنوان گامی به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های ذاتی فرایند اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون محسوب گردد (Landaburu-Aguirre, 2012; Puasa et al., 2011).

عوامل فعال سطحی آنیونی دسته‌ای از عوامل فعال‌کننده سطحی‌اند که قسمت قطبی مولکول را یک آنیون تشکیل می‌دهد. یعنی گروه سر در آنها دارای بار منفی است. بنابراین قادر به فعل‌وانفعال (جذب) آلاینده‌هایی با بار مثبت مانند یون‌های فلزی از پساب هستند. نمک‌های قلیایی یا قلیایی‌خاکی اسیدهای کربوکسیلیک، نمک‌های استری اسید سولفوریک و اسید فسفریک از این دسته‌اند و از مهم‌ترین آنها می‌توان به سدیم دودسیل سولفات^۷ و آلکیل بنزن سولفات^۸ خطی اشاره نمود (Puasa et al., 2011).

بازده فرایند MEUF در جداسازی آلاینده‌های آلی و معدنی به فاکتورهای عملیاتی متفاوتی از جمله: اختلاف

^۱ Micellar Enhanced Ultrafiltration

^۲ Surfactants

^۳ Lyophobic group

^۴ Lyophilic group

^۵ Zwitterionic

^۶ Critical Micelle Concentration

^۷ Sodium n-Dodecyl Sulphate (SDS)

^۸ Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)

مقایسه با روش نانوفیلتراسیون دارای بازدهی بیشتر و گرفتگی کمتر غشا می‌باشد (Luo, Ding, Qi, Jaffrin, & Wan, 2011; Luo et al., 2012).

در تکمیل کار این محققین، در این مقاله تصفیه پساب لبنی با استفاده از فرایند اولترافیلتراسیون و عامل سطحی آنیونی به‌عنوان بهبوددهنده آن صورت گرفت و تأثیر پارامترهای مؤثر بر عملکرد MEUF نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

پساب لبنی مورد استفاده از شرکت لبنی تاشال قوچان تهیه گردید که خصوصیات اولیه آن در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- مشخصات پساب مورد استفاده در فرایند MEUF			
pH	کدورت (NTU)	COD (میلی گرم/لیتر)	TDS (میلی گرم/لیتر)
۹/۳۰-۱۰/۴۰	۷۵۰۰-۷۰۰۰	۲۸۰۰-۳۲۰۰	۲۱۰۰-۱۸۰۰

همچنین ماده فعال سطحی آنیونی^۳ SDS از شرکت مرک آلمان با خلوص ۹۹ درصد تهیه گردید که به برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن در جدول (۲) اشاره شده است.

فشار در عرض غشا، نوع و غلظت عامل فعال سطحی، pH محلول، حضور افزودنی‌ها، نوع غشا و اندازه حفره‌های آن و درنهایت حضور و یا عدم حضور عوامل فعال سطحی غیریونی و نمک وابسته است (Rahmanian, Pakizeh, & Maskooki, 2010).

باتوجه به اهمیت بحث تصفیه پساب‌های صنعتی و همچنین استفاده روزافزون از فرایندهای غشایی در امر تصفیه آب و پساب، تلاش‌های بسیاری توسط محققان مختلف برای ارائه روش‌های بهتر جهت امر تصفیه و همچنین بهبودبخشیدن خواص غشا انجام شده است (Huang, Zeng, Fang, Qu, & Li, 2009; Landaburu-Aguirre, Pongrácz, Perämäki, & Keiski, 2010; Ngang, Ahmad, Low, & Ooi, 2012; Rahmanian, Pakizeh, Esfandiyari, Heshmatnezhad, & Maskooki, 2011a; Samper, Rodríguez, De la Rubia, & Prats, 2009). استفاده از این روش در تصفیه پساب‌های لبنی توسط (Luo, Ding, Jaffrin, & Wan, 2012) (۲۰۱۲) با بررسی شرایط مختلف نیز صورت گرفت و نتایج آن با نانوفیلتراسیون مقایسه شد. نتایج این محققین نشان داد که بهترین pH خوراک برای تصفیه به روش نانوفیلتراسیون و مدول دیسکی چرخان ۷ تا ۸ می‌باشد (Luo & Ding, 2011; Luo et al., 2012). این پژوهشگران همچنین پساب ساختگی شیر را به‌وسیله یک فرایند دو مرحله‌ای اولترافیلتراسیون و نانوفیلتراسیون مورد آزمایش قرار دادند و دریافتند که این روش در

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماده فعال سطحی آنیونی (SDS)

نام	نماد اختصاری	نوع	جرم مولکولی	وضعیت ظاهری	فرمول شیمیایی	LD ₅₀	CMC (میلی مولار)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مربع)	نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)
سدیم دودسیل سولفات	SDS	آنیونی	۲۸۸/۳۷	سفید مایل به کرم	NaC ₁₂ H ₂₅ SO ₄	۱۲۸۸	۸/۱۸	۱/۰۱	۲۰۴-۲۰۷

پایلوت غشایی

جهت بررسی اثر فشار، غلظت عامل سطحی و pH بر عملکرد MEUF از یک غشای پلیمری از جنس پلی‌اتر سولفون استفاده گردید که با استفاده از حلال دی‌متیل فرمامید^۱ (DMF) و دی‌متیل پیرولیدون^۲

(NMP)، پلیمر پلی‌اتر سولفون^۴ (PES) و پلی‌آنیلین^۵ (Pani) روی دستگاه فیلم‌کش تهیه شد. در ساخت این غشا از مواد کمکی پلی‌اتیلن آمین برای بهبود آب‌دوستی آن استفاده شد. در این تحقیق از پایلوت غشایی چندمنظوره (شرکت پیش‌تاز نانو فناوری توس، ساخت ایران) با مشخصات اشاره شده در جدول (۳) استفاده گردید.

^۳ Poly Ether Sulfones

^۴ Polyethersulfone

^۵ Polyaniline

^۱ Dimethyl formamide

^۲ Dimethyl Pyrrolidone

جدول ۳- مشخصات فنی پابلوت غشایی

حجم مخزن	نوع مادل	نوع پمپ	نوع مبدل حرارتی	دبی جریان خوراک	سیرکولاسیون	جنس غشا	فشار قابل تحمل	زاویه تماس
۴۳ لیتر	صفحه‌ای	پیستونی	صفحه‌ای	۲/۵۰ لیتر بر دقیقه	دارد	پلی‌اترئوسولفون	۱۲ بار	۶۱/۴۰

روش کار

جهت انجام هر آزمایش، ابتدا ماده فعال سطحی وزن شده و درون ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه با هم‌زن مغناطیسی با دور ۳۰۰ دور در دقیقه مخلوط شد. سپس این محلول به ۸ لیتر پساب اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه هم‌زده شد. در نهایت با رساندن pH آن به حد موردنظر، درون مخزن خوراک دستگاه ریخته شد. فشار در عرض غشا نیز با استفاده از شیرهای ورودی و خروجی بر مودول تنظیم گردید. برای تنظیم دما از یک هیتر گرمایی مجهز به دستگاه کنترل دما استفاده شد. پس از آنکه شار به حالت پایا رسید از جریان تراوه نمونه‌گیری شد.

روش‌های آزمون

نمونه‌های پساب تصفیه‌شده پس از هر آزمایش از لحاظ دفع هرکدام از شاخص‌های آلودگی یعنی اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون ترکیبات شیمیایی^۱ (COD)، مواد جامد نامحلول کل^۲ (TDS) و کدورت مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور تعیین کدورت از کدورت‌سنج^۳ (مدل AL250T آکوآلیتیک، ساخت آلمان) استفاده شد. برای تعیین مواد جامد نامحلول کل از دستگاه TDS متر (مدل BL9833، شرکت هانا، ساخت انگلستان) و برای تعیین

COD از روش اسپکتروفتومتری استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده پس از محاسبه میزان دفع ترکیبات را می‌توان در جدول (۳) مشاهده نمود. برای محاسبه درصد دفع مواد توسط غشا در شرایط عملیاتی مختلف از رابطه (۱) استفاده می‌شود (Huang, Zeng, Qu, & Zhang, 2007).

رابطه (۱)

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100$$

در رابطه (۱)، C_f : غلظت آلاینده‌ها در خوراک و C_p : غلظت آلاینده‌ها برحسب میلی‌گرم بر لیتر در جریان تراوه می‌باشد.

آنالیز آماری

آزمایش‌های این تحقیق باتوجه به ۳ سطح اختلاف فشار، ۳ سطح غلظت SDS و ۳ سطح pH با استفاده از نرم‌افزار آماری Desing expert نسخه ۷ به روش سطح پاسخ و در حالت باکس - بنکن طراحی شد. جدول (۴) سطوح در نظر گرفته شده و جدول (۵) طراحی آزمایش‌های صورت گرفته توسط نرم‌افزار یادشده را نشان می‌دهد.

جدول ۴- فاکتورها و سطوح مربوط به هر فاکتور در طراحی باکس - بنکن

فاکتور	نماد	واحد	سطوح		
			-	۰	+
غلظت ماده فعال سطحی SDS	A	میلی‌مولار	۲	۵	۸
فشار	B	بار	۲	۳	۴
pH	C		۲	۷	۱۲

¹ Chemical Oxygen Demand

² Total Dissolved Solids

³ Turbidity meter

جدول ۵ - طراحی آزمایشها باتوجه به متغیرهای وابسته در طراحی آماری سطح پاسخ

شماره	غلظت SDS	فشار (بار)	pH	شار تراوه (LMH)	COD	TDS	کدورت (NTU)
۱	۵	۳	۷	۳۸/۵۸	۶۳/۸۰	۴۴/۱۱	۹۸/۹۵
۲	۲	۳	۲	۴۵/۳۱	۵۰/۴۸	۳۳/۵۳	۹۸/۴۹
۳	۸	۲	۷	۳۵/۰۸	۷۱/۰۱	۵۰/۸۲	۹۹/۲۴
۴	۵	۴	۱۲	۳۳/۷۹	۷۲/۸۷	۵۰/۸۸	۹۹/۲۹
۵	۲	۲	۷	۴۳/۰۸	۵۶/۳۶	۳۸/۰۰	۹۸/۶۶
۶	۵	۴	۲	۴۲/۳۶	۵۴/۹۵	۳۶/۷۴	۹۸/۶۲
۷	۵	۲	۲	۴۲/۳۴	۵۷/۱۸	۳۹/۷۵	۹۸/۷۵
۸	۲	۳	۱۲	۳۷/۷۶	۶۵/۹۵	۴۵/۲۵	۹۹/۰۱
۹	۲	۴	۷	۴۰/۰۰	۶۰/۰۷	۴۰/۷۸	۹۸/۸۴
۱۰	۸	۳	۱۲	۳۱/۸۴	۷۷/۱۱	۵۴/۶۹	۹۹/۴۲
۱۱	۵	۳	۷	۳۸/۴۸	۶۳/۸۵	۴۴/۱۹	۹۸/۹۰
۱۲	۵	۳	۷	۳۸/۵۸	۶۳/۸۰	۴۴/۱۱	۹۸/۹۵
۱۳	۸	۴	۷	۳۶/۱۵	۶۷/۷۴	۴۶/۸۳	۹۹/۰۷
۱۴	۵	۳	۷	۳۸/۱۸	۶۳/۷۲	۴۴/۲۱	۹۸/۸۹
۱۵	۵	۲	۱۲	۳۵/۸۱	۷۰/۱۹	۴۹/۰۷	۹۹/۱۴
۱۶	۵	۳	۷	۳۸/۵۰	۶۳/۷۹	۴۴/۱۰	۹۸/۹۷
۱۷	۸	۳	۲	۳۹/۳۹	۶۱/۶۵	۴۲/۹۶	۹۸/۸۹

به منظور استخراج مدل و یافتن نحوه تأثیر پارامترهای مختلف از روش پاسخ سطح استفاده شد. این روش مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که در بهینه‌سازی فرایندها به کار می‌رود (Bezerra, Santelli, Oliveira, Villar, & Escaleira, 2008; Talebpour, 2009; Ghassempour, Abbaci, & Aboul-Enein). این روش توانایی ارزیابی میزان اثر پارامترها و تأثیر آنها روی یکدیگر را دارد (Switzar, Giera, Lingeman, Irth, & Niessen, 2011). در این روش برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل متغیرهای تأثیرگذار روی آن را به صورت جداگانه بیان می‌شود. مدل تعریف شده اغلب به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

رابطه (۲)

$$Y_n = D_0 + \sum D_{iX_i} + \sum \sum D_{ijX_iX_j} + \sum D_{ii} X_i^2 + \varepsilon$$

در رابطه (۲)، Y_n : یکی از پاسخها، D_0 : ضریب ثابت، D_i : اثرات خطی، D_{ii} : اثرات مربعی و D_{ij} : اثرات متقابل می‌باشد.

براساس مدل ارائه شده در رابطه (۲)، برای بررسی اثر غلظت SDS، فشار و pH روی میزان دفع COD، TDS، کدورت و دبی معادله دومجذوری به شکل رابطه (۳) در نظر گرفته شده است که در آن متغیرها X_1 ، X_2 و X_3 به ترتیب غلظت SDS، فشار و pH می‌باشند.

رابطه (۳)

$$Y = D_0 + D_1.X_1 + D_2.X_2 + D_3.X_3 + D_{11}.X_1^2 + D_{22}.X_2^2 + D_{33}.X_3^2 + D_{12}.X_1.X_2 + D_{13}.X_1.X_3 + D_{23}.X_2.X_3$$

نتایج و بحث

باتوجه به نتایج به دست آمده از آزمایشهای ضرایب رابطه (۳) برای هر کدام از پاسخها در جدول (۶) (کمتر از ۵ درصد) ارائه شده است. صحت مدل ارائه شده به کمک آنالیز واریانس مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس نشانگر معنی دار بودن مدل انتخاب شده بوده و مقدار P-value کمتر از ۰/۰۵ دلالت بر این دارد که فاکتورها و مدل برازش شده تأثیرگذار بوده و به طور اتفاقی یا به دلیل پارازیتها و اختلالات نمی‌باشد. بی معنی بودن نقص در

می‌تواند به وسیله مدل توضیح داده شود (Rahmanian, 2011b; Pakizeh, Mansoori, & Abedini, 2011b).

برازش (Lack-of-fit) نیز تأیید نهایی بر مدل ارائه شده است. مقدار R برای معادله‌های بالای ۹۹ درصد به دست آمد. به بیان دیگر بیشتر از ۹۹ درصد از تغییرات در پاسخ

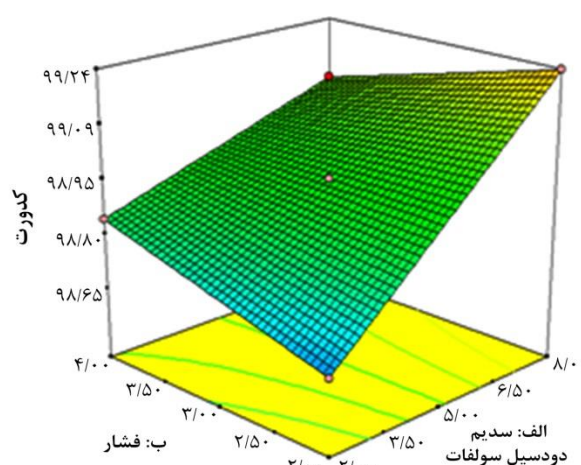
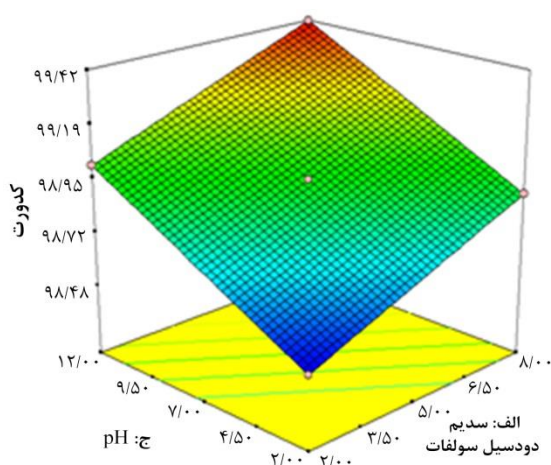
جدول ۶- ضرایب مربوط به اثرات خطی، مربعی و متقابل در مدل های بیان کننده کدورت، شار، COD و TDS

پاسخ	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁₁	D ₂₂	D ₃₃	D ₁₂	D ₁₃	D ₂₃	R ²
COD	۳۹/۷۶	۳/۶۱	۱/۳۰	۰/۸۱	۰	۰	۰	-۰/۵۸	۰	-۰/۳۵	۰/۹۶
TDS	۲۵/۵۴	-۳/۲۷	۰/۸۳	-۰/۴۵	۰	۰	۰	-۰/۵۶	۰	-۰/۳۴	۰/۹۷
شار	۵۳/۳۳	-۲/۰۳	-۱/۵۱	-۰/۴۵	۰	۰	۰	+۰/۳۵	۰	-۰/۱۰	۰/۹۸
کدورت	۹۸/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۱	-۰/۰۵	۰	۰	۰	-۰/۰۳	۰	+۰/۰۱	۰/۹۷

دفع کدورت

اصولاً کدورت پساب‌ها با استفاده از فرایندهای غشایی به خوبی کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، هر سه عامل تأثیر افزایشی تقریباً خطی بر دفع کدورت دارد ولی این افزایش چشمگیر نمی‌باشد، زیرا این درصد دفع فقط می‌تواند در حدود ۱ درصد تغییر کند.

بنابراین می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. در تحقیقی که Razavi و Elahi, Mousavi, Hakimzadeh (۲۰۱۷) روی تصفیه شکرخام نیشکر به کمک مواد فعال سطحی انجام دادند نیز نشان داده شد که در فشارهای بالای عملیاتی به دلیل فشرده شدن مایسل‌ها و تغییر شکل آنها و کاهش ظرفیت نگهداری ناخالصی‌ها کمی کدورت افزایش یافت.



شکل ۱- نمودار تأثیر متقابل متغیرهای مستقل بر دفع کدورت (شکل سمت راست pH=۷ و شکل سمت چپ P=۳ بار)

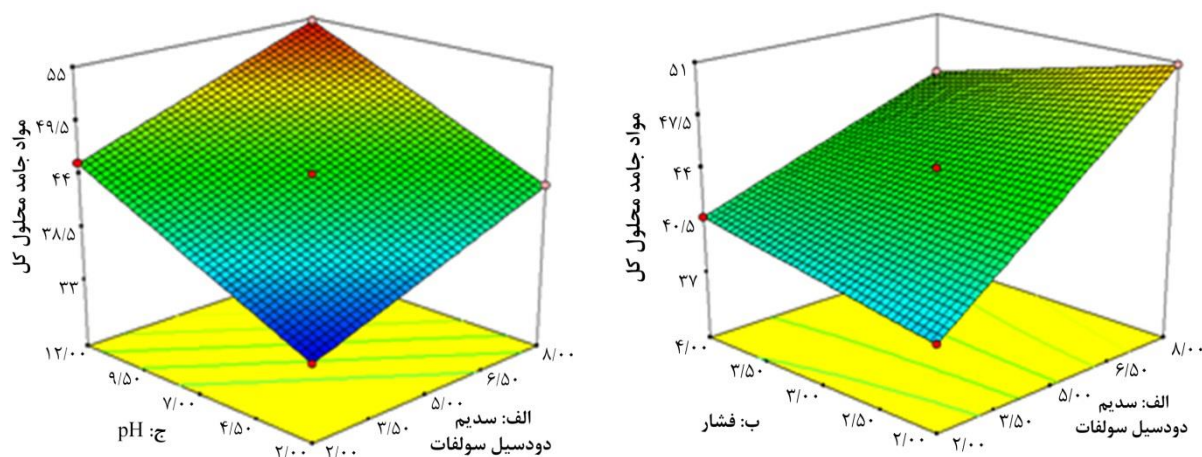
بررسی کرده بود نیز مشاهده شده که با افزایش pH از ۵/۵ تا ۸ میزان جداسازی آرسنیک افزایش می‌یابد. این افزایش در جداسازی اصولاً به دلیل تشکیل دی‌آنیونی^۱ در pHهای بالاست. جداسازی کم در pHهای پایین به دلیل قرارگیری در حالت تک‌یونی^۲ است (Sikder, 2011; Bade & Lee, 2003).

دفع TDS

باتوجه به شکل (۲) مشاهده می‌شود که درصد دفع TDS با افزایش اختلاف فشار و غلظت عامل فعال سطحی و pH افزایش می‌یابد. حذف TDS با افزایش مقدار pH از ۲ تا ۱۲ به بالای ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. زیرا در pH پایین، رقابت در جذب یون‌های H⁺ و یون‌های فلزی کاتیونی روی سطح مایسل‌های آنیونی ایجاد می‌شود. این رفتار در تحقیق دیگری که اثر pH در فرایند بهبود یافته اولترافیلتراسیون با عامل فعال سطحی کاتیونی CPC را

¹ Di-anionic

² Mono-ionic

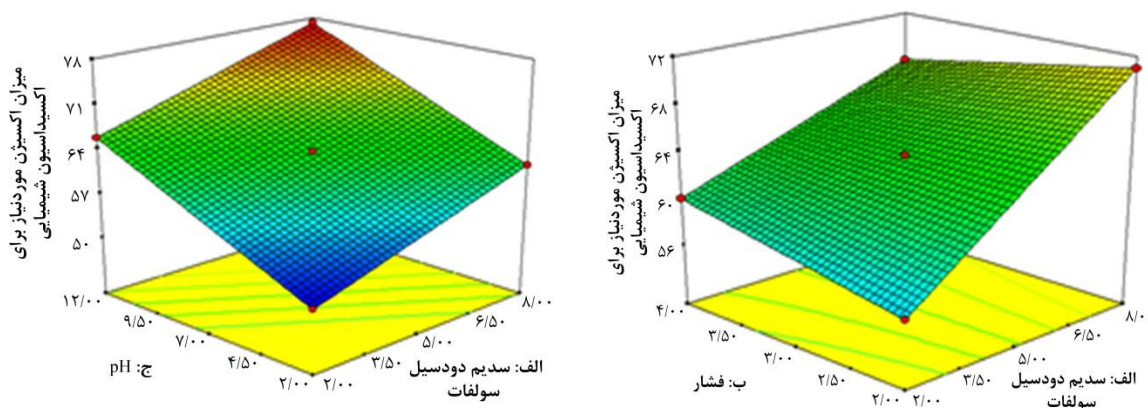


شکل ۲- نمودار تأثیر متقابل متغیرهای مختلف روی میزان دفع TDS (شکل سمت راست pH=7 و شکل سمت چپ P=3 بار)

غلظت عامل فعال سطحی در این لایه بالاتر از غلظت آن در توده محلول پساب است (El-Abbassi, Khayet, & 2010; Rahmanian et al., 2011; Hafidi). با این حال پیش‌بینی می‌شود که در غلظت‌های بالا اثر این بهبود کمتر شود. دلیل این امر آن است که تعداد نقاط اتصال یا محل‌های انحلال ترکیبات آلی، با افزایش غلظت به‌طور مؤثری افزایش نمی‌یابد (Samper et al., 2009; Zeng et al., 2011).

دفع COD

اثرات تغییرات متغیرها روی میزان دفع COD در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان دادند میزان دفع COD با افزایش غلظت عامل فعال سطحی در هر اختلاف فشاری افزایش می‌یابد. این رفتار به این دلیل است که احتمال تشکیل مایسل در لایه نزدیک سطح غشا به دلیل پدیده پلاریزاسیون غلظت افزایش می‌یابد. یعنی تعداد بسیار زیادی از مونومرهای عامل فعال سطحی شروع به ساختن مایسل در لایه پلاریزاسیون غلظت کرده زیرا



شکل ۳- نمودار تأثیر متقابل متغیرها روی میزان دفع COD (شکل سمت راست pH=7 و شکل سمت چپ P=3 بار)

همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان دفع COD در اختلاف فشار ۱۲ بار و غلظت ۸ میلی‌مولار از عامل فعال سطحی حاصل گردید. با افزایش غلظت عامل فعال سطحی، احتمال تشکیل تعداد مایسل‌ها افزایش یافته و همچنین احتمال متراکم شدن مایسل‌ها در اختلاف

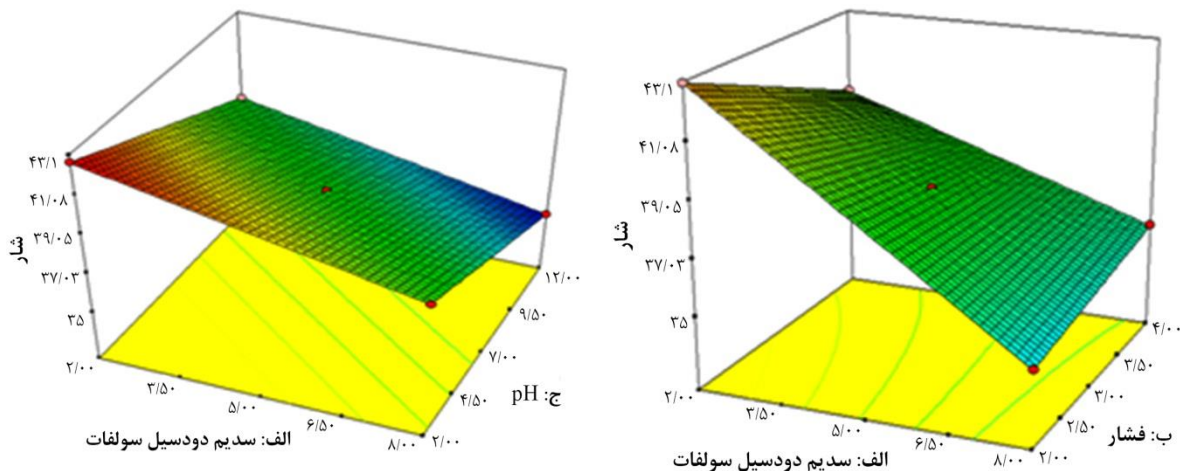
همچنین طبق شکل (۳) در غلظت‌های بالای عامل فعال سطحی، شیب افزایش درصد دفع COD با افزایش اختلاف فشار کاهش می‌یابد. زیرا در اختلاف فشارهای بالا، مایسل‌ها فشرده شده و ظرفیت انحلال‌پذیری آلاینده‌ها در آنها کاهش می‌یابد (Purkait, DasGupta, & De, 2004).

همان‌طور که مشاهده می‌شود کاهش در شار تراوه در همان ابتدای عملیات (با افزایش غلظت عامل فعال سطحی در تمام اختلاف فشارها) وجود داشت، این مورد بیان‌کننده این مطلب است که گرفتگی شدیدی با افزایش غلظت عامل فعال سطحی به وجود می‌آید. محققان مختلف بیان کردند که با افزایش غلظت عامل فعال سطحی، شار تراوه به دلیل تجمع عوامل فعال سطحی و تشکیل لایه مایسل روی سطح غشا، کاهش می‌یابد. همچنین میزان کاهش شار تراوه در غلظت‌های پایین عامل فعال سطحی (زیر نقطه CMC) به دلیل پدیده جذب سطحی و تداخل میان اجزای باردار و غشا با بار مخالف است. همچنین بیان شده است که افزایش غلظت عامل فعال سطحی سبب تغییر شکل مایسل‌ها نیز می‌شود. در چنین حالتی، مولکول خطی از غشا عبور می‌کند در حالی که مولکول‌های کروی با جرم مولکولی یکسان توسط غشا دفع می‌شوند (Bade & Lee, 2011).

فشارهای بالاتر بیشتر می‌شود. بنابراین ظرفیت انحلال‌پذیری‌شان برای ذرات آلاینده‌ها کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش نیروی محرکه مؤثر (اختلاف فشار) به دلیل افزایش انتقال ذرات آلاینده از غشا، درصد دفع کاهش می‌یابد (Huang et al., 2010; Luo et al., 2010).
افزایش pH و قلیایی‌شدن محلول سبب افزایش درصد دفع COD می‌گردد. این بدان علت است که اثرات اسیدیته روی ماده منعقدکننده بستگی به واکنش‌های ایجادشده در شرایط مختلف pH دارد. وقتی شرایط قلیایی در محیط حاکم می‌گردد لخته‌هایی حجیم و سنگین‌تر به وجود می‌آید و نتیجه آن راندمان حذف بالاتر است (Malakootian, Mansoorian, & Moosazadeh, 2010).

میزان شار تراوه

شار تراوه یکی از مهم‌ترین پاسخ‌ها در ارزیابی عملکرد سیستم‌های MEUF است. شکل (۴) اثر هم‌زمان تغییرات را بر شار حجمی تراوه در فرایند MEUF نشان می‌دهد.



شکل ۴- نمودار تأثیر متقابل متغیرها بر شار تراوه (شکل سمت راست pH=7 و شکل سمت چپ P=3 بار)

می‌باشد. به عبارت دیگر، مونومرهای عامل فعال سطحی همانند یک لایه در یک فاصله بسیار نزدیک روی سطح غشا، ته‌نشین شده و روی هم تجمع پیدا می‌کنند. بنابراین غلظت این مواد در این لایه نازک افزایش یافته و به مقادیر بالای غلظت بحرانی تشکیل مایسل می‌رسد. این افزایش، سبب تشکیل مایسل در لایه نازک نزدیک سطح غشا شده و کاهش شدید شار تراوه را به دنبال خواهد داشت. سرعت

کاهش شار تراوه در مقادیر زیر غلظت بحرانی مواد فعال سطحی می‌تواند ناشی از چند دلیل باشد. اول از همه، حضور و ته‌نشینی عامل فعال سطحی موجود در پساب، که روی سطح غشا تجمع پیدا کرده و موجب گرفتگی حفره‌ها و همچنین تشکیل لایه کیک روی سطح غشا می‌شود. همچنین ایجاد پدیده پلاریزاسیون غلظتی که به علت تجمع، عامل فعال سطحی روی سطح غشا

و مقدار تشکیل این لایه تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله اختلاف فشار، دمای عملیاتی، غلظت عامل فعال سطحی، میزان بازیابی و غیره می باشد (Hakimzadeh et al., 2017).

نتیجه گیری

به کمک طرح آماری سطح پاسخ به روش باکس - بنکن درجه اهمیت فاکتورهای تأثیرگذار بر تصفیه پساب لبنی (فشار، غلظت عامل سطحی SDS و pH) روی ۴ پاسخ میزان دفع TDS، میزان دفع COD، میزان دفع کدورت، و میزان شار تراوه در فرایند MEUF به صورت یک معادله دو مجذوری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و پس از اعتبارسنجی معادله ها به صورت ترسیم سه بعدی نقش آنها بررسی شد. نتایج نشان داد تأثیر غلظت عامل سطحی روی

کدورت هرچند با افزایش غلظت، افزایش می یابد ولی در حدود ۱ درصد می باشد و هر سه عامل تأثیر افزایشی خطی دارند. عامل سطحی روی میزان دفع COD تأثیر افزایشی دارد ولی شیب این تأثیر با افزایش فشار کاهش می یابد. چنین نتیجه ای برای میزان دفع TDS نیز وجود داشت. غلظت عامل سطحی و pH روی شار تراوه اثر کاهشی ولی افزایش فشار تأثیر افزایشی دارد. در نهایت باتوجه به نتایج به دست آمده در توانایی مطلوب جداسازی COD و TDS از پساب لبنی، می توان به سودمندی فرایند MEUF در تصفیه پساب یاد شده پی برد. مسلماً باتوجه به شار بالاتر این فرایند نسبت به فرایند NF در فشارهای در عرض غشای پایین تر می توان امید داشت که فرایند MEUF جایگزین فرایندهای پرهزینه ایی مانند NF و RO گردد.

منابع

- Bade, R., & Lee, S. H. (2011). A review of studies on micellar enhanced ultrafiltration for heavy metals removal from wastewater. *Journal of Water Sustainability*, 1(1), 85-102.
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965-977. doi:<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>
- Crites, R. W., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*: WCB/McGraw-Hill.
- El-Abbassi, A., Khayet, M., & Hafidi, A. (2011). Micellar enhanced ultrafiltration process for the treatment of olive mill wastewater. *Water Research*, 45(15), 4522-4530. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.044>
- Hakimzadeh, V., Mousavi, S. M., Elahi, M., & Razavi, S. M. A. (2017). Purification of Raw Cane Sugar by Micellar-Enhanced Ultrafiltration Process Using Linear Alkylbenzene Sulphonate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12953. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.12953>
- Huang, J.-h., Zeng, G.-m., Fang, Y.-y., Qu, Y.-h., & Li, X. (2009). Removal of cadmium ions using micellar-enhanced ultrafiltration with mixed anionic-nonionic surfactants. *Journal of Membrane Science*, 326(2), 303-309. doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.10.013>
- Huang, J.-h., Zeng, G.-m., Qu, Y.-h., & Zhang, Z. (2007). Adsorption characteristics of zinc ions on sodium dodecyl sulfate in process of micellar-enhanced ultrafiltration. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 17(5), 1112-1117. doi:[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(07\)60234-9](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(07)60234-9)
- Huang, J.-H., Zhou, C.-F., Zeng, G.-M., Li, X., Niu, J., Huang, H.-J., . . . He, S.-B. (2010). Micellar-enhanced ultrafiltration of methylene blue from dye wastewater via a polysulfone hollow fiber membrane. *Journal of Membrane Science*, 365(1-2), 138-144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.08.052>
- Landaburu-Aguirre, J. (2012). *Micellar-enhanced ultrafiltration for the removal of heavy metals from phosphorous-rich wastewaters*. (Doctoral dissertation), University of Oulu, Finland, Retrieved from <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789514299117.pdf>

- Landaburu-Aguirre, J., Pongrácz, E., Perämäki, P., & Keiski, R. L. (2010). Micellar-enhanced ultrafiltration for the removal of cadmium and zinc: use of response surface methodology to improve understanding of process performance and optimisation. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1-3), 524-534. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.066>
- Luo, F., Zeng, G.-M., Huang, J.-H., Zhang, C., Fang, Y.-Y., Qu, Y.-H., . . . Zhou, C.-F. (2010). Effect of groups difference in surfactant on solubilization of aqueous phenol using MEUF. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1-3), 455-461. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.106>
- Luo, J., & Ding, L. (2011). Influence of pH on treatment of dairy wastewater by nanofiltration using shear-enhanced filtration system. *Desalination*, 278(1-3), 150-156. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.025>
- Luo, J., Ding, L., Qi, B., Jaffrin, M. Y., & Wan, Y. (2011). A two-stage ultrafiltration and nanofiltration process for recycling dairy wastewater. *Bioresource Technology*, 102(16), 7437-7442. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.012>
- Luo, J., Ding, L., Wan, Y., & Jaffrin, M. Y. (2012). Threshold flux for shear-enhanced nanofiltration: experimental observation in dairy wastewater treatment. *Journal of Membrane Science*, 409, 276-284. doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.03.065>
- Malakootian, M., Mansoorian, H., & Moosazadeh, M. (2010). Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness from drinking water. *Desalination*, 255(1-3), 67-71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.01.015>
- Ngang, H., Ahmad, A., Low, S., & Ooi, B. (2012). Preparation of mixed-matrix membranes for micellar enhanced ultrafiltration based on response surface methodology. *Desalination*, 293, 7-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.02.018>
- Puasa, S. W., Ruzitah, M. S., & Sharifah, A. S. A. K. (2011, June). *An overview of micellar-enhanced ultrafiltration in wastewater treatment process*. Paper presented at the Proceedings of international conference on environment and industrial innovation (ICEII 2011), Kuala Lumpur, Malaysia.
- Purkait, M., DasGupta, S., & De, S. (2004). Resistance in series model for micellar enhanced ultrafiltration of eosin dye. *Journal of Colloid and Interface Science*, 270(2), 496-506. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.10.030>
- Rahmanian, B., Pakizeh, M., Esfandyari, M., Heshmatnezhad, F., & Maskooki, A. (2011a). Fuzzy modeling and simulation for lead removal using micellar-enhanced ultrafiltration (MEUF). *Journal of Hazardous Materials*, 192(2), 585-592. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.051>
- Rahmanian, B., Pakizeh, M., Mansoori, S. A. A., & Abedini, R. (2011b). Application of experimental design approach and artificial neural network (ANN) for the determination of potential micellar-enhanced ultrafiltration process. *Journal of Hazardous Materials*, 187(1-3), 67-74. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.135>
- Rahmanian, B., Pakizeh, M., & Maskooki, A. (2010). Micellar-enhanced ultrafiltration of zinc in synthetic wastewater using spiral-wound membrane. *Journal of Hazardous Materials*, 184(1-3), 261-267. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.031>
- Samper, E., Rodríguez, M., De la Rubia, M., & Prats, D. (2009). Removal of metal ions at low concentration by micellar-enhanced ultrafiltration (MEUF) using sodium dodecyl sulfate (SDS) and linear alkylbenzene sulfonate (LAS). *Separation and Purification Technology*, 65(3), 337-342. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.11.013>
- Sikder, S. K. (2003). *Application of sodium deoxycholate for separation of heavy metals*. (Doctoral dissertation), Massey University, Palmerston North, New Zealand, Retrieved from https://mro.massey.ac.nz/bitstream/handle/10179/1789/02_whole.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Switzar, L., Giera, M., Lingeman, H., Irth, H., & Niessen, W. M. (2011). Protein digestion optimization for characterization of drug-protein adducts using response surface modeling. *Journal of Chromatography A*, 1218(13), 1715-1723. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.12.043>

- Talebpour, Z., Ghassempour, A., Abbaci, M., & Aboul-Enein, H. Y. (2009). Optimization of microwave-assisted extraction for the determination of glycyrrhizin in menthazin herbal drug by experimental design methodology. *Chromatographia*, 70(1-2), 191-197. doi:<https://doi.org/10.1365/s10337-009-1146-4>
- Zeng, G.-M., Li, X., Huang, J.-H., Zhang, C., Zhou, C.-F., Niu, J., . . . Li, F. (2011). Micellar-enhanced ultrafiltration of cadmium and methylene blue in synthetic wastewater using SDS. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3), 1304-1310. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.10.046>

Studying Transmembrane Pressure, pH and Anionic Surfactant (SDS) Concentration Effects on MEUF Process Performance in Dairy Waste Water Treatment Using Response Surface Methodology Design

Ali Arasteh Nodeh¹, Susan Khosroyar^{2*}, Vahid Hakimzadeh³

1- Associated Professor, Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

* Corresponding author (susankhosroyar@yahoo.com)

3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

Abstract

Surfactants are widely used to improve membrane processes due to their ability to trap toxic, organic compounds and heavy metals in industrial wastewater treatment. In this study, the micellar-enhanced ultrafiltration process (MEUF) was used to improve the efficiency of ultrafiltration process to reduce COD, TDS, and turbidity and promote membrane permeate flux in dairy wastewater treatment. The influence of three operating parameters: SDS concentration, transmembrane pressure and pH with their interactions effects were evaluated using surface response methodology (RSM) in box-behnken design. The results showed that the concentration of anionic surface active agent as one of the most influential factors due to the formation of concentration polarization layer and increase in the number of micelles had a negative effect on flux, but had a positive effect on the elimination of the contamination indexes. Also, due to the compression of micelles, the amount of pollutant removal was reduced at high operational pressures. In addition, increasing pH improved the removal of COD, TDS, and turbidity.

Keywords: Dairy waste water, Enhanced Ultrafiltration, Micelle, Response Surface Methodology, Surface Active Agents

تهیه فیلم نانوکامپوزیت سلولز باکتریایی/ پلی پیرول - اکسید روی و بررسی ویژگی های فیزیکی مکانیکی، ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی آن

سجاد پیرسا^{۱*}، توحید شوموسی^۲، احسان مقدس کیا^۳

۱- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

* نویسنده مسئول (s.pirsa@urmia.ac.ir & pirsa7@gmail.com)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه غیرانتفاعی آفاق ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی مراغه، ارومیه، ایران

چکیده

در این تحقیق نانوذرات پلی پیرول (PPy) و نانوکامپوزیت پلی پیرول-اکسید روی (PPy-ZnO) به روش شیمیایی روی فیلم سلولز باکتریایی در حضور کلرید آهن ۳ سنتز و فیلم های هادی الکتریسته تهیه شد. اندازه، شکل و مورفولوژی ذرات سنتز شده با استفاده از تکنیک میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان دادند پلی پیرول های سنتز شده کروی شکل و در ابعاد ۵۰-۱۵۰ نانومتر می باشند در حالی که ذرات نانوکامپوزیت پلی پیرول-اکسید روی دانه ای شکل بوده و در ابعاد ۳۰-۱۲۰ نانومتر می باشند. خواص مکانیکی شامل کرنش تا نقطه شکست و مقاومت کششی، خواص ضد میکروبی و ضد قارچی (باکتری / شرشیکلی و قارچ اسپرژیلوس نایجر) و نیز خاصیت آنتی اکسیدانی و هدایت الکتریکی فیلم های تهیه شده مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد که در پی اضافه کردن پلی پیرول مقاومت الکتریکی کاهش یافت در نتیجه جریان الکتریکی فیلم ها افزایش یافت. افزودن نانوذرات (پلی پیرول و اکسید روی) باعث تضعیف خواص مکانیکی (کرنش در نقطه شکست و مقاومت کششی) شده و استحکام کششی کاهش یافت. قدرت مهار کنندگی رادیکال های آزاد فیلم سلولز باکتریایی با افزودن اکسید روی به طور قابل توجهی افزایش یافت. سنتز و افزایش زمان سنتز پلی پیرول روی فیلم سلولز تأثیر مثبت در ایجاد خاصیت ضد میکروبی و ضد قارچی فیلم ها داشت ولی نانوذرات اکسید روی بیشتر روی خاصیت ضد قارچی مؤثر می باشد.

واژه های کلیدی

اکسید روی
پلی پیرول
خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی
سلولز باکتریایی
نانوساختار

مقدمه

افزایش تولید و حجم مصرف پلاستیک ها و پلیمرهای نفتی در زندگی روزمره بشر، منجر به تجمع حجم عظیمی از ضایعات پلاستیکی غیر قابل تجزیه شده و سبب ایجاد مشکلات زیست محیطی گسترده ای گردیده است. راه حل بنیادی برای حل مشکل زباله های پلیمری، تولید پلیمرهای زیست تخریب پذیر است (Siracusa, Rocculi, 2008).

(Romani, & Dalla Rosa, 2008). سلولز باکتریایی^۱ یکی

از پلیمرهای زیست تخریب پذیر می باشد که اخیراً در زمینه بسته بندی مواد غذایی و تولید بسته بندی های زیست تخریب پذیر و فعال، کاربرد بسیار زیادی پیدا کرده است. سلولز باکتریایی، پلی ساکاریدی میکروبی است که از ویژگی های منحصربه فردی برخوردار می باشد و توجه

¹ Bacterial Cellulose

مادون قرمز، رفتار نیمه‌هادی، غیرسمی بودن برای انسان و فعالیت‌های ضد میکروبی آنها باعث ارزش اقتصادی آنها در کاربردهای صنعتی شده است. همچنین اخیراً فعالیت‌های ضد سرطانی نانوکامپوزیت اکسید روی گزارش شده است (Ali et al., 2016). پلیمرهای رسانای الکتریکی به دلیل کاربردهای متعدد آنها نظیر باتری‌های قابل شارژ، پوشش‌های سطح، محافظ امواج الکترومغناطیسی، حسگرها، عضله‌های مصنوعی و پزشکی و نیز فیلم‌های هادی جریان جهت بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی به شدت مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار دارند. از جمله کاربردهای فیلم‌های رسانای جریان الکتریکی می‌توان به بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی مانند بسته‌بندی گوشت‌ها، سبزی‌ها و میوه‌ها اشاره کرد. اگرچه پلیمرهای رسانای متعددی سنتز شده‌اند، اما پلی‌پیرول^۲ به دلیل خواص قابل توجه از جمله پایداری رسانایی بهتر و قابل کنترل بودن مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (Nouri, 2009). پلی‌پیرول نیز مانند بسیاری از پلیمرهای رسانا در حلال‌های معمولی انحلال پذیر نیست. همچنین این ماده دیرگداز است زیرا قبل از ذوب تغییر ماهیت می‌دهد. این پلیمر به خاطر داشتن برخی ویژگی‌ها مانند هدایت الکتریکی مناسب، سنتز شیمیایی و الکتروشیمیایی آسان، غیرسمی بودن، زیست تخریب پذیر بودن، اصلاح بسیاری از فیلم‌های زیست تخریب پذیر، ساخت حسگرهای یونی و گازی، اصلاح سطوح فلزی، جاذب‌های شیمیایی، فیلترهای شیمیایی و غیره مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرد (Eisa Zadeh & Khademian, 2006). پلی‌پیرول از تعدادی ساختارهای حلقه‌ای متصل به پیرول تشکیل شده و ثابت شده است که فعالیت ضد باکتری خوبی در برابر باکتری /شرشیاکی^۳ دارد (Ebrahimiasl, Zakaria, 2015). (Kassim, & Basri, 2015).

برای یک بسته‌بندی فعال آنتی‌اکسیدانی این عیب بزرگی محسوب می‌شود که تمام آنتی‌اکسیدان موجود در آن در چند روز اول به ماده غذایی مهاجرت نموده و در ادامه مدت نگهداری ماده غذایی، فیلم هیچ‌گونه خاصیت آنتی‌اکسیدانی نداشته باشد. درمورد اکثر آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و سنتزی، نرخ رهايش با گذشت زمان کاهش یافته و میزان آنتی‌اکسیدان مهاجرت کرده، در

بسیاری از محققان به استفاده از این ترکیب در کاربردهای مختلف غذایی، پزشکی، صنعتی و حتی الکترونیکی معطوف شده است (Esa, Tasirin, & Rahman, 2014). در حال حاضر، باکتری‌های مختلفی برای تولید سلولز استفاده می‌شوند اما /استویاکتر گزیلینیوم^۱ به طور گسترده‌ای در تولید تجاری آن کاربرد دارد (Shi, Zhang, 2014). سلولز باکتریایی به دلیل دارا بودن خواص فیزیکی قوی، در صنایع غذایی به عنوان یک ژل کننده، قوام دهنده، پایدار کننده و اصلاح کننده بافت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shi et al., 2014). یکی از کاربردهای سلولز باکتریایی استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی است. در سال‌های اخیر، از این بیوپلیمر در تولید بسته‌بندی‌های فعال استفاده فراوانی شده است. بسته‌بندی فعال نوعی بسته‌بندی است که علاوه بر داشتن خواص بازدارندگی اصلی بسته‌بندی‌های معمول، با تغییر شرایط بسته‌بندی، ایمنی، ماندگاری و یا ویژگی‌های حسی ماده غذایی را بهبود می‌بخشد و در عین حال کیفیت ماده غذایی حفظ می‌گردد (Ghanbarzadeh, Pezeshki Najafabadi, 2011). نانوذرات اکسید روی به علت خواص فیزیکیوشیمیایی پایدار، غیرسمی و ارزان بودن به طور گسترده‌ای در تولید فیلم استفاده می‌شوند. علاوه بر این طبق گزارش‌های اخیر تولید هیدروژن پراکسید از سطح نانوذرات اکسید روی باعث بروز پدیده آنتی‌باکتریال در فیلم‌ها می‌شود (Zhang, Jiang, Ding, Povey, & York, 2007). اکسید روی در مقایسه با نانوذرات نقره خواص غیرسمی و ظاهری سفید دارد. در نتیجه اکسید روی برای بهبود خواص پلیمرهای مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد (Kumar, Kathe, Varadarajan, & Prasad, 2006). خاصیت ضد میکروبی اکسید روی از گذشته بسیار دور شناخته شده و کاربردهای فراوانی در ضد عفونی کردن وسایل پزشکی، تصفیه آب، کرم‌ها، لوسیون‌ها و پمادهای ضد باکتری دارد. بنابراین از نانوذرات اکسید روی در فیلم‌های خوراکی استفاده می‌شود تا علاوه بر ایجاد خاصیت ضد میکروبی، خواص عملکردی بسته‌بندی بهبود یابد (Gajjar et al., 2009). باتوجه به ویژگی‌های فراوان نانوذرات اکسید روی مانند: فتوکاتالیستی، پایداری فیزیکیوشیمیایی، ویژگی جذب کنندگی اشعه فرابنفش و

^۲ Polypyrrole

^۳ E. Coli

^۱ Acetobacter xillinum

پژوهشکده متالوژی رازی- تهران ثبت شد. دستگاه بافت سنج (مدل TA.XT Plus, Stable Micro Systems, ساخت ایالات متحده) در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه برای بررسی ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها استفاده شد. مقاومت الکتریکی فیلم‌های تهیه شده با استفاده از مولتی متر دیجیتالی (ساخت چین) ثبت گردید.

تهیه فیلم سلولز باکتریایی اصلاح شده با اکسید روی- پلی پیرول

برای تهیه فیلم سلولز باکتریایی/اکسید روی-پلی پیرول، محلول پیرول و اکسید روی طبق طرح آزمایشی مرکب مرکزی و غلظت‌های صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵۰، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ مرکزی و غلظت‌های صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵۰، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ مولار برای اکسید روی و نیز پیرول در زمان‌های ۱۵، ۲۶/۵، ۳۷، ۴۸/۵ و ۶۰ دقیقه (در دمای محیط) روی فیلم سلولز باکتریایی آماده (خریداری شده از شرکت نانوپلیمر ساری) سنتز شدند. جدول (۱) طرح آزمایشی مرکب مرکزی استفاده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طرح آزمایشی مرکب مرکزی

تیمار	غلظت پیرول (مولار)	غلظت اکسید روی (مولار)	زمان سنتز (دقیقه)
F1	۰/۰۵	۰/۰۵	۳۷
F2	۰/۰۰	۰/۱۰	۳۷
F3	۰/۰۰	۰/۱۰	۶۰
F4	۰/۰۸	۰/۰۳	۲۶/۵۰
F5	۰/۰۰	۰/۱۰	۱۵
F6	۰/۱۰	۰/۰۰	۱۵
F7	۰/۰۳	۰/۰۸	۴۸/۵۰
F8	۰/۰۰	۰/۱۰	۶۰
F9	۰/۰۵	۰/۰۵	۶۰
F10	۰/۰۰	۰/۱۰	۲۶/۵۰
F11	۰/۰۰	۰/۱۰	۶۰
F12	۰/۰۳	۰/۰۸	۲۶/۵۰
F13	۰/۱۰	۰/۰۰	۶۰
F14	۰/۱۰	۰/۰۰	۱۵
F15	۰/۰۵	۰/۰۵	۱۵
F16	۰/۱۰	۰/۰۰	۶۰
F17	۰/۰۸	۰/۰۳	۴۸/۵۰
F18	۰/۰۵	۰/۰۵	۶۰
F19	۰/۱۰	۰/۰۰	۳۷/۵۰
Blank	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

زمان‌های اولیه بیشتر از زمان‌های نهایی نگهداری ماده غذایی می‌باشد. در واقع در رهائش کنترل شده، هدف، افزایش طول مدت زمان مهاجرت آنتی اکسیدان و همچنین قابل پیش بینی کردن نرخ رهائش می‌باشد. Ebrahimiasl و همکاران (۲۰۱۵) فیلم زیست تخریب پذیر کیتوزان/پلی پیرول-اکسید روی را سنتز کرده و گزارش دادند که پلی پیرول و اکسید روی خاصیت ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی و هدایت الکتریکی فیلم را افزایش می‌دهد. در این پژوهش، فیلم سلولز باکتریایی حاوی اکسید روی و پلی پیرول به منظور استفاده در بسته بندی فعال و ضد قارچی و ضد میکروبی و همچنین بسته بندی هوشمند (به دلیل تغییر مقاومت الکتریکی آن در معرض مواد فاسد غذایی) تولید شده است. هدف اصلی این پژوهش بررسی خواص مکانیکی، خاصیت ضد میکروبی، آنتی اکسیدانی و هادی الکتریسیته بودن فیلم تولید شده می‌باشد که در ادامه این تحقیق تأثیر فیلم سنتز شده روی افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی و بسته بندی هوشمند آنها مطالعه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی

پیرول استفاده شده قبل از مصرف تحت خلأ تقطیر شد و با کلرید آهن ۳ مورد استفاده قرار گرفت. مونومر پیرول^۱ از شرکت مرک تهیه شد و گلیسرول، اسید استیک، ۲ و ۲-دی فنیل-۱-پیکریل-هیدرازیل^۲ (DPPH) و سایر ترکیبات آلی مورد استفاده از شرکت مرک و آلدریج تهیه شدند. این ترکیبات که از شرکت‌های مرک و آلدریج تهیه شده بودند بدون خالص سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفتند. نانوذرات اکسید روی برای تهیه نانوکامپوزیت پلی پیرول-اکسید روی از شرکت آلدریج (St Louis, MO, آمریکا) تهیه شد. فیلم سلولز باکتریایی نیز از شرکت نانوپلیمر (ساری، ایران) تهیه و استفاده شد.

دستگاه‌ها

تصاویر با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترون روبشی^۳ (SEM) (مدل Tescan Vega-3، ساخت ژاپن) در

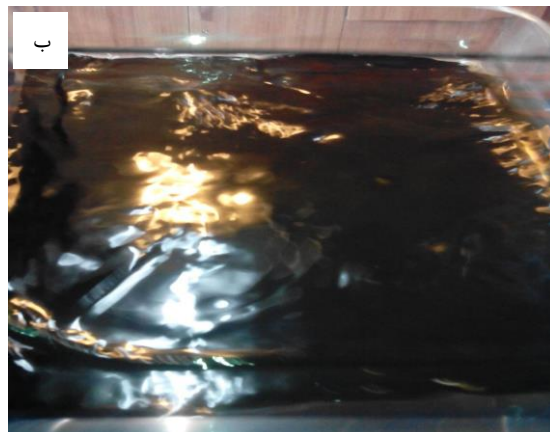
^۱ Pyrrole

^۲ 2,2-Diphenyl-1- picrylhydrazyl

^۳ Scanning Electron Microscope

حین فرایند خشک شدن تمامی نانوذرات پلی پیرول و اکسید روی در داخل فیلم سلولزی تثبیت می شود. شکل (۱) تصویر فیلم سلولز باکتریایی خالص و نمونه فیلم سلولز باکتریایی اصلاح شده با پلی پیرول و اکسید روی را نشان می دهد.

برای این کار محلول پیرول، اکسید روی و کلرید آهن (۳) (سنتز کننده پیرول) تهیه شده در حجم معین آب مقطر، در درون پلیت ریخته شده و فیلم سلولزی در آن غوطه ور گردید. پلی پیرول و پلی پیرول-اکسید روی روی فیلم سلولز باکتریایی سنتز گردید و در نهایت بعد از تهیه، فیلم به مدت ۳ ساعت در دمای محیط خشک گردید که در



شکل ۱- تصویر فیلم نانوالیاف سلولز باکتریایی (الف) و فیلم سلولز باکتریایی اصلاح شده با پلی پیرول-اکسید روی (ب)

اندازه گیری خواص مکانیکی فیلم ها

آزمون تنش کرنش یکی از پرکاربردترین آزمون های تعیین رفتار مکانیکی فیلم ها می باشد. آزمون های کشش با استفاده از دستگاه بافت سنج و طبق استاندارد شماره ۱۹-۲۲ (ASTM, 2010) در دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. برای اندازه گیری ویژگی های مکانیکی فیلم های تهیه شده، ۵ فیلم از فیلم های تهیه شده براساس جدول (۱) انتخاب شدند. در فیلم های انتخاب شده می توان اثر سه فاکتور غلظت پیرول و غلظت اکسید روی و نیز زمان سنتز کامپوزیت روی فیلم سلولز باکتریایی را بررسی کرد. برای این منظور فیلم ها در ابعاد ۵×۱ سانتی متر توسط برشگر مخصوص فیلم ها برش داده شد. فاصله بین دو فک دستگاه ۳ سانتی متر و سرعت حرکت فک ها ۰/۸۳ میلی متر بر ثانیه تنظیم شد. فاکتورهای حداکثر نیروی شکست (برحسب نیوتن)، نسبت نیرو به زمان^۱ برحسب نیوتن بر ثانیه و فاصله تا نقطه شکست (میلی متر) به وسیله دستگاه محاسبه شد. فاکتورهای کرنش تا نقطه شکست (STB^۲) و مقاومت کششی (TS^۳) توسط رابطه (۱) و (۲) محاسبه شد (Lee, An, Lee, Park, & Lee, 2004).

رابطه (۱)

$$\text{فاصله تا نقطه شکست} \times 100 = \frac{\text{کرنش تا نقطه شکست}}{\text{طول فیلم}} (\%)$$

رابطه (۲)

$$\text{مقاومت کششی (TS)} = \frac{\text{نیرو}}{\text{عرض فیلم} \times \text{ضخامت فیلم}}$$

در رابطه (۲) مقاومت کششی برحسب مگاپاسکال، نیرو برحسب نیوتن، ضخامت (d) و عرض فیلم (W) برحسب میلی متر می باشند (Lee et al., 2004).

تعیین خاصیت آنتی اکسیدانی

توانایی از دست دادن اتم هیدروژن توسط ترکیبات فنولیک یا میزان بی رنگ کردن محلول بنفش ۲ و ۲-دی فنیل-۱-پیکریل-هیدرازیل عصاره متانولی فیلم ها مورد سنجش قرار گرفت. در این آزمون از DPPH به عنوان ترکیبات رادیکالی پایدار استفاده گردید. به منظور تعیین ظرفیت آنتی اکسیدانی فیلم ها از طریق قدرت خنثی کنندگی رادیکال آزاد DPPH از روش Siripatrawan و Harte

¹ Gradient

² Strain to Break

³ Tensile Strength

غلظت پیرول و زمان سنتز) روی مقاومت الکتریکی و خاصیت آنتی اکسیدانی از طرح آماری مرکب مرکزی استفاده شد. هدف از طراحی این آزمایش بررسی اثر غلظت اکسید روی، غلظت پیرول و زمان سنتز روی فیلم های سلولز باکتریایی و نیز بررسی برهم کنش بین آنها می باشد. بدین منظور طبق جدول (۱) تعداد ۲۰ فیلم تهیه گردید. از بین فیلم های تهیه شده تعدادی از فیلم ها که تأثیر پیرول و اکسید روی را روی خواص مکانیکی و ضدباکتریایی و قارچی را نشان می دهد، انتخاب گردید. تحلیل و ارزیابی داده ها با استفاده از نرم افزار آماری Design Expert نسخه ۷ در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. از نرم افزار Design Expert جهت رسم نمودارها استفاده گردید.

نتایج و بحث

مطالعه مورفولوژی فیلم های تهیه شده

مورفولوژی سطحی فیلم های سلولز باکتریایی، پلی پیرول سنتز شده روی سطح فیلم سلولز باکتریایی، اکسید روی رشد داده شده روی فیلم سلولز باکتریایی و کامپوزیت پلی پیرول-اکسید روی سنتز شده روی فیلم سلولز باکتریایی در شکل (۲) نشان داده شده است. فیلم خالص سلولز باکتریایی (تصویر ۲-الف) دارای سطح صاف می باشد و شکل فیبرها به وضوح قابل تشخیص است. اندازه قطر نانوالیاف سلولز باکتریایی حدود ۴۰-۶۰ نانومتر می باشد، ساختار شبکه فیلم سلولز باکتریایی در شکل (۲-الف) شفاف و روشن است. چنین شبکه متخلخل از سلولز باکتریایی اجازه می دهد مولکول مهمان در سراسر فضای داخلی آن به راحتی پخش شود. شکل (۲-ب) ساختار مورفولوژی سلولز-پلی پیرول را نشان می دهد، واضح است که نانوفیبرهای سنتز شده با قطر تقریبی ۴۰-۶۰ نانومتر به خوبی از هم جدا شده اند، ابعاد بین نانوفیبر سلولزی و سلولز-پلی پیرول را می توان در شکل (۲-ب) به طور واضح مشاهده کرد، قسمتی که لایه های تقریباً یکنواخت پلی پیرول روی نانوفیبرهای سلولز باکتریایی پخش شدند، که در آن لایه پلی پیرول ضخامت تقریبی ۵۰ نانومتر دارد و روی فیبرهای سلولز پخش شده است (Wang, Bian, 2013). تصاویر SEM از سطح ذرات ZnO که روی فیلم سلولز رشد کرده اند در شکل (۲-ج) نشان داده شده است. سلولز دارای سطح صاف می باشد

(۲۰۱۰) استفاده شد. میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100، ساخت آمریکا) در طول موج ۵۱۷ نانومتر ثبت شد. ظرفیت آنتی اکسیدانی فیلم ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Siripatrawan & Harte, 2010).
رابطه (۳)

= درصد خاصیت آنتی اکسیدانی

$$\left(\frac{\text{جذب شاهد} - \text{جذب محلول رادیکالی}}{\text{جذب محلول رادیکالی}} \right) \times 100$$

اندازه گیری مقاومت الکتریکی فیلم ها

برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی فیلم های تهیه شده از دستگاه مولتی متر (مدل Escort، ساخت چین) استفاده گردید. دستگاه روی مقاومت سنج تنظیم شد و دو الکتروود دستگاه با فاصله ۱ سانتی متر از یکدیگر روی فیلم ها قرار گرفت، سپس مقدار مقاومت الکتریکی از روی دستگاه خوانده و ثبت گردید.

بررسی خاصیت ضد میکروبی و ضد قارچی فیلم ها

۲ میلی لیتر از مایه کشت باکتری /شرشیاکلی و قارچ *آسپرژیلوس نایجر*^۱ حاوی حدود ۱۰^۶-۱۰^۵ واحد تشکیل کلنی بر میلی لیتر عدد از باکتری و قارچ از دانشگاه ارومیه تهیه گردید. فیلم های تولید شده به صورت دایره هایی با قطر ۳ میلی متر بریده شد. برای کشت /شرشیاکلی از محیط کشت نوترینت آگار^۲ و برای کشت *آسپرژیلوس* از محیط کشت سیب زمینی دکستروز آگار (PDA)^۳ استفاده گردید. بعد از کشت باکتری و قارچ مدنظر روی محیط های کشت مخصوص قطعه های فیلم بریده شده روی سطح کشت قرار داده شد. بعد از ۴۸ ساعت نگهداری در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد، مقدار هاله های ایجاد شده دور فیلم ۳ بار از زاویه های مختلف اندازه گیری گردید و میانگین آنها ثبت شد. این آزمایش سه بار تکرار گردید (Saadatmand, Yazdanshenas, Rezaei-Zarchi, Yousefi-telori, & Negahdary, 2012).

تحلیل آماری

برای بررسی اثر پارامترهای مستقل (غلظت اکسید روی،

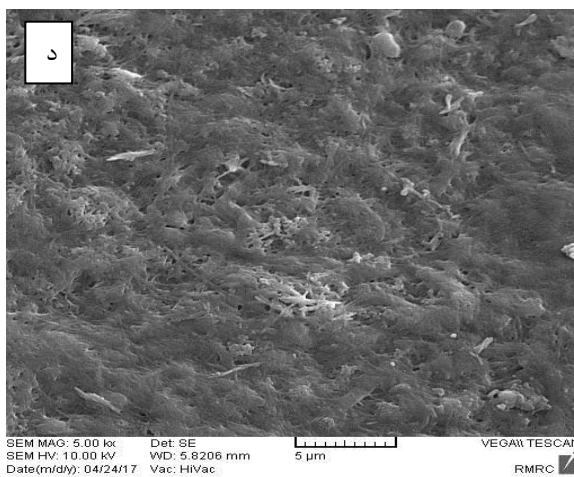
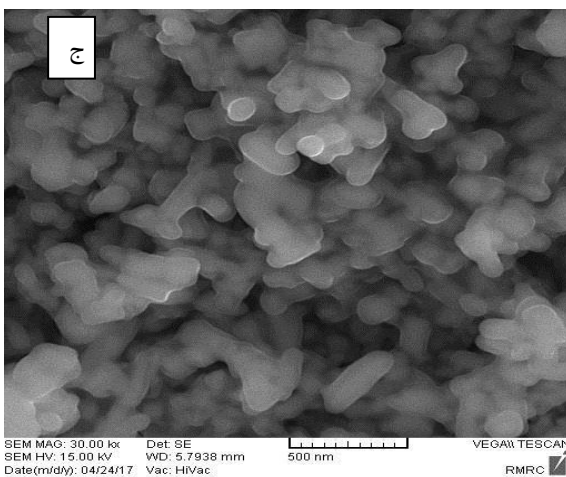
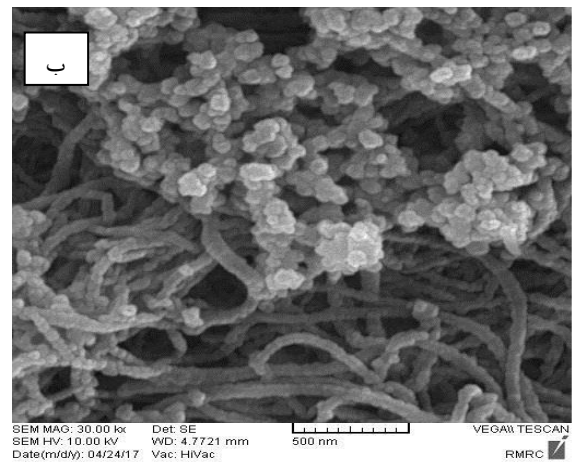
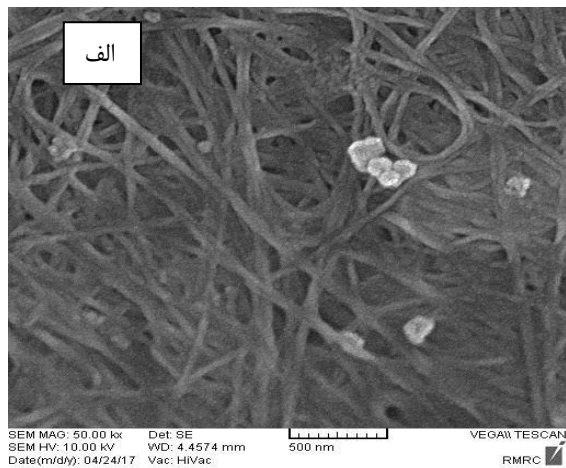
^۱ *Aspergillus niger*

^۲ Nutrient agar

^۳ Potato Dextrose Agar

۱۰۰-۱۵۰ نانومتر می‌باشد و روی سلولز باکتریایی رشد کرده‌اند. مورفولوژی سطحی به وضوح نشان داد نانوذرات پلی‌پیرول و اکسید روی به صورت یکنواخت روی سطح سلولز باکتریایی رشد می‌کند.

که پس از رشد ZnO، ذرات میله‌مانند و ۸ ضلعی با اندازه ذرات ۵۰-۱۰۰ نانومتر به طور کامل سطح سلولز را پوشش داده‌اند. تصویر SEM از نانوکامپوزیت پلی‌پیرول-اکسید روی در شکل (۲-د) نشان داده شده است. اندازه ذرات



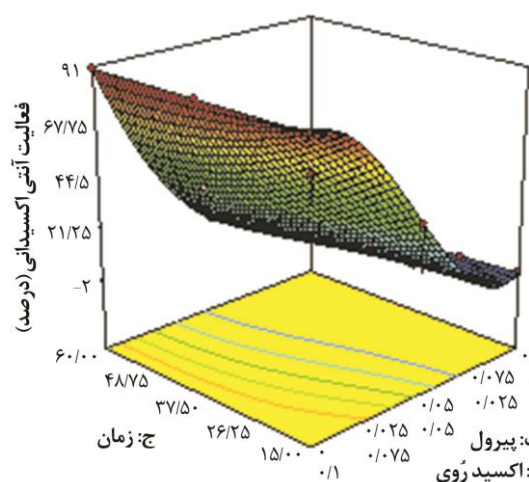
شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به نمونه فیلم‌های سلولز خالص (الف)، سلولز-پلی‌پیرول (ب)، سلولز-اکسید روی (ج) و سلولز/پلی‌پیرول-اکسید روی (د)

باکتریایی/اکسید روی و سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول/اکسید روی دارای ظرفیت بسیار بالایی برای استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی و بسته‌بندی‌های هوشمند هستند. در مطالعه سنسورهای گاز براساس پلیمرهای هدایت‌شده، Pirsa، Shamsi و Kia (۲۰۱۸) نشان دادند که در سنسورهای گاز مبتنی بر پلی‌پیرول مقاومت الکتریکی با قراردادن اسید، پایه یا ترکیبات طبیعی فرار تغییر می‌کند. با استفاده از فیلم‌های سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول، سلولز باکتریایی/اکسید روی و سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول/اکسید روی در بسته‌بندی مواد غذایی، امکان تعیین ترکیبات فرار از مواد غذایی (بوی مواد غذایی)، زمان ذخیره مواد غذایی

خواص مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی فیلم‌های سلولز/پلی‌پیرول و سلولز/پلی‌پیرول-اکسید روی به عنوان عامل بسیار مهمی که می‌تواند در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی هوشمند، حسگرهای بی‌حس‌کننده، سنسور گاز و غیره مورد استفاده قرار گیرد، مورد بررسی قرار گرفت. مقاومت الکتریکی فیلم‌های مختلف، ثبت شد و اثر زمان و مدت زمان پلیمریزاسیون پلی‌پیرول و اکسید روی مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۳) منحنی مقاومت الکتریکی نسبت به غلظت پیرول و اکسید روی را نشان می‌دهد. فیلم‌های سنتز شده شامل سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول، سلولز

با زمان سنتز ۶۰ دقیقه، حدود ۸۹/۲۵ درصد قدرت به دام اندازی رادیکال دی فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) را دارا می باشد که به عنوان معیاری برای بررسی قدرت آنتی اکسیدانی می باشد. شکل (۴) نشان می دهد که افزایش غلظت اکسید روی در ماتریس نانوکامپوزیت تأثیر معنی داری روی خاصیت آنتی اکسیدانی دارد ($P < 0.05$). پلی پیرول نیز اثر معنی داری بر فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم ها داشت از ۸۰ تا ۳۰ درصد قدرت آنتی اکسیدانی را نشان داد که با افزایش غلظت پیرول و زمان پلیمریزاسیون قدرت آنتی اکسیدانی فیلم کاهش یافت. زمان پلیمریزاسیون پلی پیرول و زمان رسوب ZnO تأثیر قابل توجهی بر فعالیت آنتی اکسیدانی دارند، در هر دو مورد افزایش زمان، فعالیت آنتی اکسیدانی را افزایش می دهد. نتایج تحقیق ها نیز حاکی از افزایش قدرت آنتی اکسیدانی در اثر افزودن اکسید روی به ماتریس پلیمری فیلم ها می باشد (Emamifar, Kadivar, Shahedi, & Soleimanian-Zad, 2011).

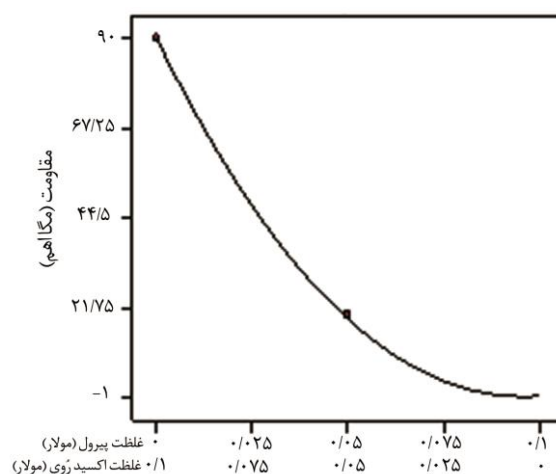


شکل ۴- منحنی سه بُعدی تأثیر غلظت اکسید روی و پلی پیرول روی خاصیت آنتی اکسیدانی فیلم ها

خواص مکانیکی

از بین فیلم های تهیه شده مطابق جدول (۱) تعدادی فیلم که اثر پیرول، اکسید روی و مدت زمان سنتز روی خواص مکانیکی را نشان می دهد، انتخاب شد. شکل (۵) منحنی نیروی کشش فیلم ها نسبت به زمان کشش و نقطه شکست و نیز منحنی ستونی کرنش در نقطه شکست (STB) و مقاومت کششی (TS) را نشان می دهند.

و دمای نگهداری مواد غذایی وجود خواهد داشت. علاوه بر این، با استفاده از فیلم های ارائه شده در بسته بندی مواد غذایی، می توان غلظت مواد فرار را با مطالعه هدایت الکتریکی فیلم ها برآورد کرد. بین هدایت الکتریکی و برخی پارامترها در بسته بندی شامل بوی غذا، دما، فشار، ترکیبات فرار، زمان ذخیره سازی و غیره می توان رابطه خطی برقرار کرد و از این رابطه خطی برای تخمین مدت زمان و دمای نگهداری و سایر پارامترهای محصولات غذایی استفاده کرد (Ram, Yavuz, Lahsangah, & Aldissi, 2005). نتایج شکل (۳) نشان می دهد که افزایش غلظت پیرول باعث کاهش مقاومت الکتریکی و افزایش شدت جریان الکتریکی می شود که در بسته بندی های هوشمند (براساس تغییرات مقاومت الکتریکی) بالابردن میزان هدایت الکتریکی حساسیت فیلم نسبت به تغییرات محیطی را افزایش می دهد.



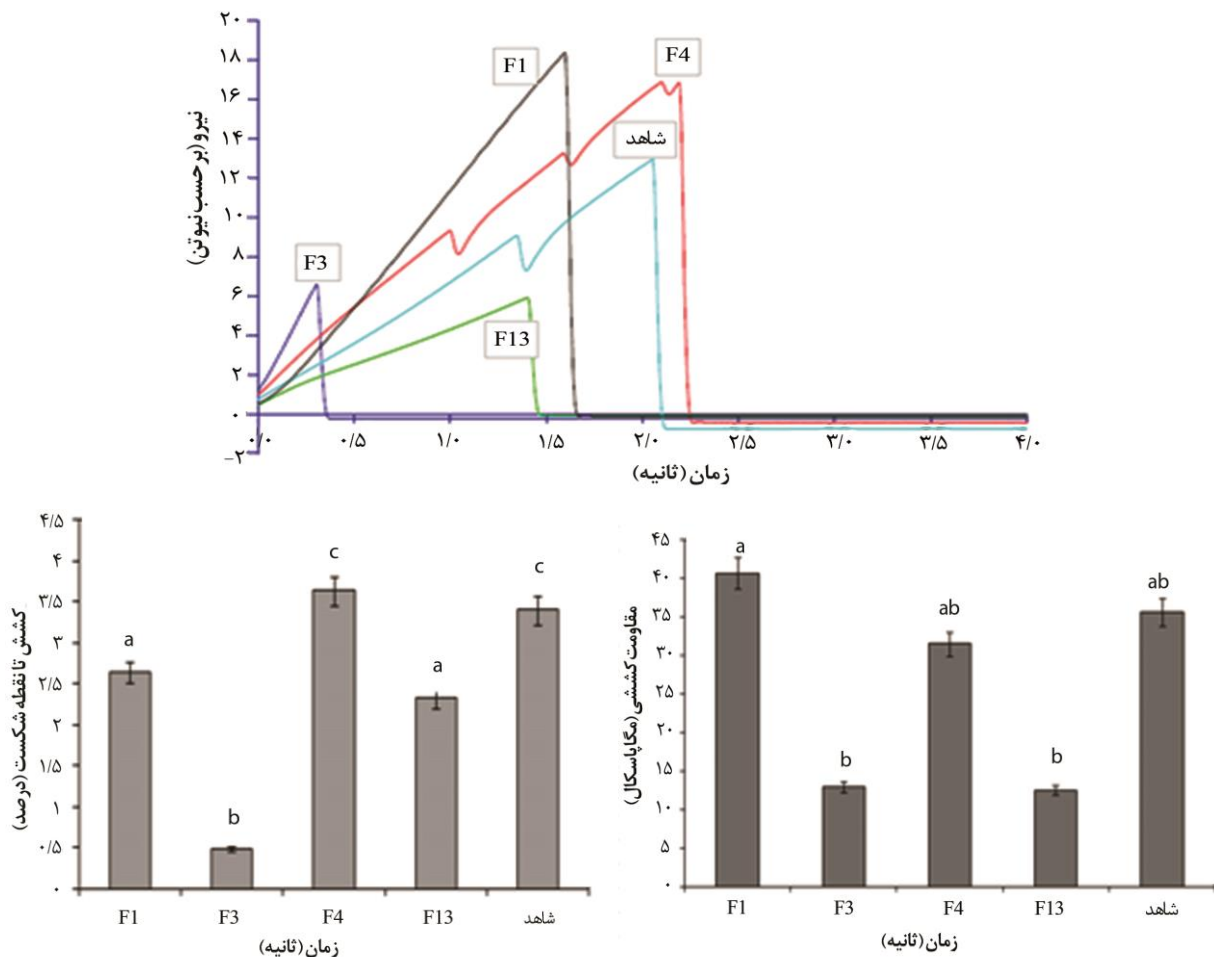
شکل ۳- نمودار خطی تأثیر غلظت پیرول و اکسید روی بر مقاومت الکتریکی (MΩ) فیلم ها

تعیین خاصیت آنتی اکسیدانی فیلم ها

اساس این تست بر پایه احیاء و تغییر رنگ رادیکال DPPH به رنگ زرد در حضور مواد آنتی اکسیدانی می باشد. در این تست وجود آنتی اکسیدان باعث تبدیل رادیکال DPPH به یک ترکیب زرد رنگ به نام دی فنیل هیدرازیل می گردد که شدت این واکنش بستگی به توانایی اهدای هیدروژن ماده آنتی اکسیدانی می باشد. سرانجام کاهش رنگ موجب کاهش در میزان جذب اسپکتروفوتومتری می گردد. اکسید روی ویژگی آنتی اکسیدانی بالایی را از خود نشان داد. فیلم حاوی ۰/۱ درصد وزنی اکسید روی

این باشد که پیوندهای جدیدی بین پلیمرهای پیرو و سلولز شکل می‌گیرد که این پیوندها به نوبت خود پیوندهای بین پلیمرهای سلولز را کاهش داده و مقاومت فیزیکی آن را پایین می‌آورد و همچنین باتوجه به اینکه پلی‌پیرو یک پلیمر ترد و شکننده می‌باشد قرار گرفتن این پلیمرها در فضای بین پلیمرهای سلولز نیز منجر به کاهش شدید کشش تا نقطه شکست می‌شود. نتایج این تحقیق تقریباً مشابه نتایج به‌دست‌آمده در کارهای مشابه می‌باشد که درستی نتایج به‌دست‌آمده را تأیید می‌کند (Ko, Mun, Min, Kim, & Kim, 2014; Pang, Liu, Zhang, Wu, & Sun, 2013).

نتایج به‌دست‌آمده از شکل (۵) نشان می‌دهد که سنتز اکسید روی، پلی‌پیرو و کامپوزیت اکسید روی-پلی‌پیرو روی خواص مکانیکی فیلم سلولز باکتریایی مؤثر می‌باشد. براین اساس ترسیب اکسید روی؛ روی سطح فیلم، کرنش در نقطه شکست و مقاومت کششی فیلم را تا حدودی کاهش می‌دهد که علت این امر را می‌توان به پرکردن زنجیره پلیمری داخل سلولز توسط اکسید روی نسبت داد که در نهایت باعث می‌شود انعطاف‌پذیری و مقاومت فیزیکی فیلم سلولزی کاهش یابد. سنتز پلی‌پیرو نیز به شدت فیلم کرنش در نقطه شکست و مقاومت کششی فیلم را کاهش می‌دهد که شاید علت این کاهش شدید



شکل ۵- منحنی نیروی کشش نسبت به زمان کشش فیلم‌ها، منحنی کرنش در نقطه شکست (STB) و مقاومت کششی (TS) فیلم‌ها حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تفاوت‌ها می‌باشد ($P < 0.05$).

چندین فیلم انتخاب‌شده و آزمون‌های ضد میکروبی و ضد قارچی روی آنها انجام پذیرفت. جدول (۲) فعالیت ضد قارچی فیلم‌های تولیدشده در برابر قارچ *اسپرژیلوس نایجر* و جدول (۳) فعالیت ضد باکتریایی فیلم‌ها در حضور

آزمون ضد میکروبی

برای بررسی اثر غلظت اکسید روی و غلظت پیرو و نیز زمان سنتز روی فعالیت ضد میکروبی و ضد قارچی فیلم‌های تهیه‌شده، از بین فیلم‌های تهیه‌شده مطابق جدول (۱)

نتایج به دست آمده با نتایج Zehra, Solangi, Nawaz و Nadeem (۲۰۱۱) مطابقت دارد. میزان هاله ایجاد شده در شکل های (۶) و (۷) نشان داده شده است. فعالیت ضد میکروبی بیشتر به غلظت میزان نانوذرات بستگی دارد. همچنین پلی پیرول از تعدادی ساختارهای حلقه ای متصل به پیرول تشکیل شده است و ثابت شده فعالیت ضد میکروبی خوبی در برابر /شرشیاکی دارد (Ebrahimiasl et al., 2015).

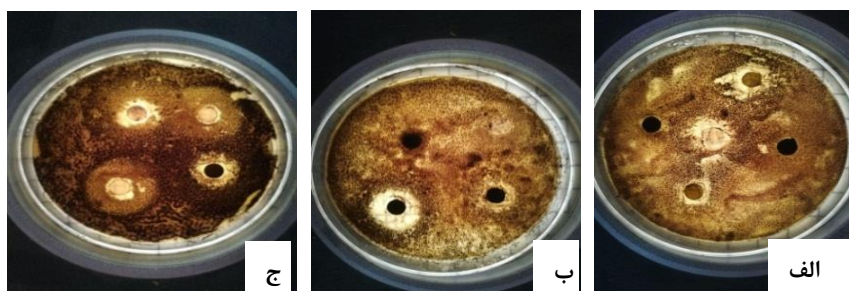
باکتری /شرشیاکی مورد مطالعه را نشان می دهد. فیلم شاهد (سلولز باکتریایی) هیچ اثر بازدارندگی روی قارچ آسپرژیلوس و باکتری /شرشیاکی نشان نداد. افزودن اکسید روی و پلی پیرول منجر به ایجاد نواحی شفاف بازدارندگی در اطراف فیلم ها شد. بیشترین بازدارندگی در نمونه های حاوی ۰/۰۵ درصد پلی پیرول و ۰/۰۵ درصد اکسید روی مشاهده گردید. که علت این پدیده، تولید گونه های اکسیژن فعال بر سطح نانوذرات می باشد. که با نفوذ به داخل سلول باکتری باعث مرگ سلول می شوند.

جدول ۲- فعالیت ضدقارچی فیلم های تولید شده در برابر قارچ آسپرژیلوس نایجر

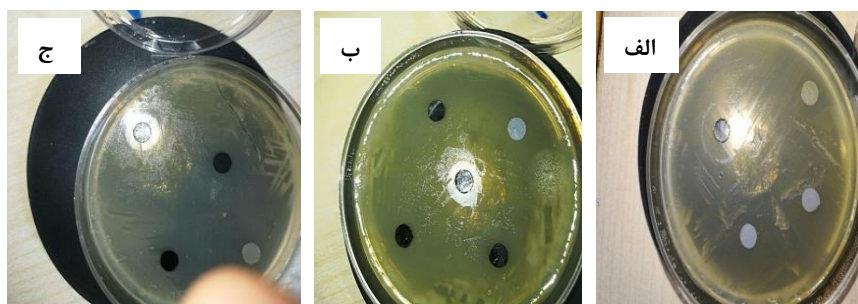
تیمار	غلظت اکسید روی	غلظت پیرول	زمان سنتز (ثانیه)	قطر فیلم (میلی متر)	قطر هاله تشکیل شده (میلی متر)	تفاضل قطر هاله و فیلم (میلی متر)	مساحت هاله mm^2 (میلی متر مربع)
Blank	-	-	-	۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
F9	۰/۰۵	۰/۰۵	۶۰	۳	۱۳/۵۰	۱۰/۵۰	۸۶/۵۴±۰/۱۲
F13	۰/۱۰	۰/۰۰	۶۰	۳	۸/۱۰	۵/۱۰	۲۳/۷۴±۰/۱۵
F17	۰/۰۸	۰/۰۳	۴۵	۳	۵/۵۰	۲/۵۰	۴/۹۰±۰/۱۰
F1	۰/۰۵	۰/۰۵	۴۵	۳	۱۰/۰۰	۷/۰۰	۳۸/۴۶±۰/۰۸
F19	۰/۱۰	۰/۰۰	۴۵	۳	۴/۵۰	۱/۵۰	۱/۷۶±۰/۱۵

جدول ۳- فعالیت ضد میکروبی فیلم های تولید شده در برابر باکتری /شرشیاکی

تیمار	درصد اکسید روی	درصد پلی پیرول	زمان سنتز (ثانیه)	قطر فیلم (میلی متر)	قطر هاله تشکیل شده (میلی متر)	تفاضل قطر هاله و فیلم (میلی متر)	مساحت هاله mm^2 (میلی متر مربع)
نمونه شاهد	-	-	-	۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۴۵	۳	۶/۳۰	۳/۳۰	۸/۵۴±۰/۰۸
۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۶۰	۳	۸/۸۰	۵/۸۰	۲۶/۴۰±۰/۱۰
۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۴۵	۳	۶/۴۰	۳/۴۰	۹/۰۷±۰/۱۲
۱۳	۰/۱۰	۰/۰۰	۶۰	۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۷	۰/۰۸	۰/۰۳	۴۵	۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰



شکل ۶- فعالیت ضدقارچی فیلم ها: (الف) هاله ایجاد شده اطراف فیلم ۱۹ و عدم هاله اطراف فیلم بلانک، (ب) هاله ایجاد شده اطراف فیلم ۹ و (ج) هاله ایجاد شده اطراف فیلم های ۱۳، ۱۷ و ۱



شکل ۷- فعالیت ضدباکتری فیلم‌ها: (الف) هاله ایجادشده اطراف فیلم ۹ و عدم ایجاد هاله اطراف فیلم بلانک، (ب) هاله ایجادشده اطراف فیلم ۱۵ و عدم هاله اطراف فیلم ۱۳ و (ج) هاله ایجادشده اطراف فیلم ۱ و عدم ایجاد هاله اطراف فیلم ۱۷

نتیجه گیری

پلی‌پیرول نانوساختار (۵۰ تا ۱۵۰ نانومتر) و نانوکامپوزیت پلی‌پیرول-اکسید روی (۳۰ تا ۱۲۰ نانومتر) روی فیلم سلولز باکتریایی به روش شیمیایی و در دمای محیط سنتز گردید. از طرح مرکب مرکزی برای بررسی اثر غلظت پیروول و غلظت اکسید روی و نیز زمان سنتز نانوکامپوزیت بر ویژگی آنتی‌اکسیدانی و هدایت الکتریکی فیلم‌های تهیه‌شده استفاده شد. ویژگی‌های ضد میکروبی، ضدقارچی و مکانیکی فیلم‌های تهیه‌شده نیز بررسی گردید. سنتز پلی‌پیرول و نیز افزایش زمان سنتز پلیمر تأثیر مثبت در ایجاد خاصیت ضد میکروبی و ضدقارچی فیلم‌ها داشت و با افزایش غلظت پیروول و نیز زمان سنتز آن خواص ضد میکروبی و ضدقارچی فیلم‌ها افزایش یافت ولی نانوذرات اکسید روی بیشتر روی خاصیت ضدقارچی مؤثر

می‌باشد. با اضافه کردن پلی‌پیرول مقاومت الکتریکی کاهش یافت در نتیجه هدایت الکتریکی فیلم‌ها افزایش یافت. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد پلی‌پیرول و اکسید روی دارای پتانسیل بالایی جهت استفاده به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان و ماده ضد میکروبی و قارچی در نگهداری مواد غذایی بوده و با افزودن این نانوذرات به فیلم سلولز باکتریایی، می‌توان یک فیلم زیست‌تخریب‌پذیر با رهایش کنترل‌شده به‌منظور استفاده در بسته‌بندی غذاهای حساس به اکسیداسیون و میکروبی تولید نمود. همچنین با توجه به خاصیت هادی الکتریسیته‌بودن پلی‌پیرول و با در نظر گرفتن این موضوع که هدایت الکتریکی فیلم تحت شرایط اکسیداسیونی مختلف تغییر می‌یابد، می‌توان از این فیلم‌ها در بسته‌بندی هوشمند محصولات غذایی استفاده کرد.

منابع

- Ali, A., Ambreen, S., Maqbool, Q., Naz, S., Shams, M. F., Ahmad, M., . . . Zia, M. (2016). Zinc impregnated cellulose nanocomposites: Synthesis, characterization and applications. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 98, 174-182. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2016.07.007>
- ASTM. (2010). Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. D882-10. In: Annual book of ASTM. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- Ebrahimiasl, S., Zakaria, A., Kassim, A., & Basri, S. N. (2015). Novel conductive polypyrrole/zinc oxide/chitosan bionanocomposite: synthesis, characterization, antioxidant, and antibacterial activities. *International Journal of Nanomedicine*, 10, 217-227. doi:<https://doi.org/10.2147/IJN.S69740>
- Eisa Zadeh, H., & Khademian, M. (2006). Preparation of Polypyrrole and Its Composites in Various Solutions Using Different Additives and Studying the morphology and Conductivity of the Prepared Film. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 19(2), 131-136. (in Persian) doi:<https://doi.org/10.22063/jipst.2006.837>
- Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M., & Soleimanian-Zad, S. (2011). Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice. *Food Control*, 22(3-4), 408-413. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.011>

- Esa, F., Tasirin, S. M., & Rahman, N. A. (2014). Overview of bacterial cellulose production and application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 113-119. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.017>
- Gajjar, P., Pettee, B., Britt, D. W., Huang, W., Johnson, W. P., & Anderson, A. J. (2009). Antimicrobial activities of commercial nanoparticles against an environmental soil microbe, *Pseudomonas putida* KT2440. *Journal of Biological Engineering*, 3(1), 9. doi:<https://doi.org/10.1186/1754-1611-3-9>
- Ghanbarzadeh, B., Pezeshki Najafabadi, A., & Almasi, H. (2011). Antimicrobial edible films for food packaging. *Food Science and Technology*, 8(32), 123-135. (in Persian)
- Ko, H.-U., Mun, S., Min, S. K., Kim, G.-W., & Kim, J. (2014). Fabrication of Cellulose ZnO Hybrid Nanocomposite and Its Strain Sensing Behavior. *Materials*, 7(10), 7000-7009. doi:<https://doi.org/10.3390/ma7107000>
- Lee, C. H., An, D. S., Lee, S. C., Park, H. J., & Lee, D. S. (2004). A coating for use as an antimicrobial and antioxidative packaging material incorporating nisin and α -tocopherol. *Journal of Food Engineering*, 62(4), 323-329. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00246-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00246-2)
- Nawaz, H. R., Solangi, B. A., Zehra, B., & Nadeem, U. (2011). Preparation of nano zinc oxide and its application in leather as a retanning and antibacterial agent. *Canadian Journal on Scientific and Industrial Research*, 2(4), 164-170.
- Nouri, M. (2009). The Electrical Conductivity of Stretched Polyaniline and Polypyrrole Coated Yarns. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 22(5), 373-379. (in Persian) doi:<https://doi.org/10.22063/jipst.2009.708>
- Pang, J., Liu, X., Zhang, X., Wu, Y., & Sun, R. (2013). Fabrication of cellulose film with enhanced mechanical properties in ionic liquid 1-allyl-3-methylimidazolium chloride (AmimCl). *Materials*, 6(4), 1270-1284. doi:<https://doi.org/10.3390/ma6041270>
- Pirsa, S., Shamus, T., & Kia, E. M. (2018). Smart films based on bacterial cellulose nanofibers modified by conductive polypyrrole and zinc oxide nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(34), 46617. (in Press). doi:<https://doi.org/10.1002/app.46617>
- Ram, M. K., Yavuz, Ö., Lahsangah, V., & Aldissi, M. (2005). CO gas sensing from ultrathin nano-composite conducting polymer film. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106(2), 750-757. doi:<https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.09.027>
- Saadatmand, M. M., Yazdanshenas, M. E., Rezaei-Zarchi, S., Yousefi-telori, B., & Negahdary, M. (2012). Investigation of anti-microbial properties of chitosan-TiO₂ Nanocomposite and its use on sterile gauze pads. *Medical Laboratory Journal*, 6(1), 59-72. (in Persian)
- Shi, Z., Zhang, Y., Phillips, G. O., & Yang, G. (2014). Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*, 35, 539-545. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.012>
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Dalla Rosa, M. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), 634-643. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003>
- Siripatrawan, U., & Harte, B. R. (2010). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 770-775. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.003>
- Vigneshwaran, N., Kumar, S., Kathe, A., Varadarajan, P., & Prasad, V. (2006). Functional finishing of cotton fabrics using zinc oxide-soluble starch nanocomposites. *Nanotechnology*, 17(20), 5087.
- Wang, H., Bian, L., Zhou, P., Tang, J., & Tang, W. (2013). Core-sheath structured bacterial cellulose/polypyrrole nanocomposites with excellent conductivity as supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(3), 578-584.
- Zhang, L., Jiang, Y., Ding, Y., Povey, M., & York, D. (2007). Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). *Journal of Nanoparticle Research*, 9(3), 479-489. doi:<https://doi.org/10.1007/s11051-006-9150-1>

Preparing of Bacterial Cellulose/Polypyrrole-Zinc Oxide Nanocomposite Film and Studying its Physicomechanical, Antimicrobial and Antioxidant Properties

Sajad Pirs^{1*}, Tohid Shamsi², Ehsan Moghaddas Kia³

1- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

* Corresponding author (Pirs7@gmail.com & S.pirs@urmia.ac.ir)

2- MSc. Graduated, Department of Food Science and Technology, Afagh Higher Education Institute, Urmia, Iran

3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Maragheh University of Medical Sciences, Maragheh, Iran

Abstract

In this research, polypyrrole (PPy) and polypyrrole-zinc oxide (PPy-ZnO) nanocomposites were synthesized by chemical method on the bacterial cellulose film in the presence of Iron chloride III. The size, shape and morphology of the synthesized particles were studied using scanning electron microscopy. The results showed that the polypyrrole particles (60-150 nm) are spherical in shape, while the nanoparticles of polypyrrole-Zinc oxide are granular in shape and are in the range of 30-120 nm. Mechanical properties including, strain to break and tensile strength and antimicrobial-antifungal properties, as well as antioxidant properties and electrical conductivity of the films were studied. The results showed that the addition of polypyrrole decreased the electrical resistance, resulting in an increase in the electrical current of the film. The addition of nanoparticles reduced the mechanical properties and decreased the tensile strength. The inhibitory power of free radicals of the film increased with the addition of zinc oxide. The synthesis and increase of the polypyrrole synthesis time on a cellulose film had a positive effect on the antimicrobial and antifungal properties of films, but zinc oxide nanoparticles were more effective on antifungal properties.

Keywords: Antimicrobial and Antioxidant Properties, Bacterial Cellulose, Nanostructure, Polypyrrole, Zinc Oxide

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و پختی اسپاگتی غنی شده با سبوس جو و صمغ زانتان

راضیه نیازمند^{۱*}، سارا ناجی طبسی^۲، آتنا مدیری^۲، مسلم جهانی^۴

۱- دانشیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول (r.niazmand@rifst.ac.ir)

۲- استادیار، گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

۴- استادیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۱

واژه‌های کلیدی

اسپاگتی
سبوس جو
فیبر رژیمی
هیدروکلوئید

فیبرهای رژیمی اثرات فیزیولوژیکی و متابولیکی مفیدی دارند و غنی‌سازی محصولات پرمصرفی چون اسپاگتی با آنها می‌تواند سطح سلامتی و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مختلف در جامعه را افزایش دهد. در این پژوهش اثر سبوس جوی فراوری شده (در سطوح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد)، صمغ زانتان (در سطوح ۱ و ۲ درصد) و برهم‌کنش آنها جهت تولید اسپاگتی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (رطوبت، خاکستر و رنگ)، ویژگی‌های پخت (جذب آب، افت پخت و شاخص تورم)، بافت، ریزساختار و خصوصیات حسی موردبررسی قرار گرفت. جذب آب و افت پخت نمونه‌های اسپاگتی با افزایش سبوس به ترتیب کاهش و افزایش یافت ($P < 0.05$). با افزودن فیبر شبکه گلوئنی تضعیف شد و در نتیجه زمان پخت به ۱۰ دقیقه کاهش یافت. استفاده از سبوس جوی فراوری شده با افزایش جزئی زردی، افزایش قابل توجه قرمزی و کاهش روشنایی رنگ اسپاگتی‌های پخته همراه بود. سبوس باعث کاهش سفتی رشته‌های اسپاگتی پخته شد ($P < 0.05$) اما افزایش درصد جایگزینی سبوس تأثیر معنی‌دار بر سفتی بافت نداشت ($P > 0.05$). حضور صمغ زانتان در کنار سبوس جو باعث بهبود خصوصیات بافتی آن گردید ($P < 0.05$). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد با افزودن زانتان، دیواره‌های بسته‌های هوا متورم‌تر می‌شود و در حضور سبوس وجود ساختار زیرتری در اسپاگتی مشهود بود. ارزیابی حسی بیانگر پذیرش کلی کمتر نمونه‌های حاوی فیبر نسبت به نمونه شاهد بود. اگرچه نمونه حاوی ۴۰ درصد سبوس جو و فاقد زانتان دارای بیشترین پذیرش کلی در میان نمونه‌های غنی‌سازی شده با فیبر بود.

مقدمه

معرفی کرده است. این محصول یکی از غذاهای قدیمی بر پایه غلات می‌باشد و به دلیل ارزان قیمت بودن، سهولت مصرف، تنوع و زمان نگهداری، در سراسر جهان مورد مقبولیت عام قرار می‌گیرد (Bergman, 1994). دانشمندان توصیه نموده‌اند که به منظور پیشگیری از

پاستا جزء اولین محصولات اعلام شده در سال ۱۹۹۱ از سوی سازمان غذا و داروی ایالت متحده آمریکا برای غنی‌سازی با آهن و ویتامین‌ها بوده و سازمان بهداشت جهانی، پاستا را یک حامل مناسب برای مواد مغذی

اسکلت اصلی پیچیده می‌شوند و آن را مستحکم و سفت می‌کند (Garcia-Ochoa, Santos, Casas, & Gomez, 2000; Phillips & Williams, 2000). صمغ زانتان به‌طور کامل در آب سرد یا گرم حل می‌شود اما در بسیاری از ترکیبات آلی نامحلول است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این صمغ خاصیت روان‌شدن آن در اثر برش است که پس از حذف برش به مقدار گرانیوی اولیه می‌رسد. گرانیوی پایین آن در درجه برش‌های بالا باعث می‌شود که عمل مخلوط کردن، ریزش و فروبردن آسان گردد. گرانیوی بالای آن در درجه برش پایین موجب خصوصیات سوسپانسیونی مطلوب و پایداری سوسپانسیون می‌شود. خصوصیت ویژه زانتان، حساس نبودن آن به دماست که به آن اجازه می‌دهد، گرانیوی بالای خمیرها را در دمای بالا حفظ کند بنابراین امکان انبساط آنها را قبل از تشکیل ساختارشان را فراهم می‌کند (Kohajdová, Karovičová, & Schmidt, 2009).

امروزه باتوجه به میزان کم فیبر در رژیم غذایی روزانه، گسترش مصرف محصولات غذایی غنی‌شده با این ترکیبات ضروری است. فراورده‌های پاستا از محصولات پرمصرف در جهان هستند و همچنین علاوه بر دارا بودن خواص تغذیه‌ای مناسب، در تمامی سنین مورد استفاده قرار می‌گیرد. درنتیجه می‌توان در کنار اثرات مفید ماکارونی در تغذیه و تأمین انرژی از خصوصیات ماکارونی‌های غنی‌شده با فیبرهای رژیمی در جهت افزایش سطح سلامتی بدن و نیز کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مختلف استفاده نمود (Mosharraf et al., 2009).

Mazaheri Tehrani و Mortazavi, Razavi, Nasehi (۲۰۱۶) ویژگی‌های ماکارونی غنی‌شده با آرد کامل سویا (۰ تا ۲۷ درصد) را موردبررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین جذب آب به نمونه حاوی بیشترین مقدار آرد سویا مربوط بود. همچنین ماکارونی‌های غنی‌شده سختی کمتری در مقایسه با شاهد داشتند درحالی‌که پس از پخت، با افزایش مقدار آرد سویا در فرمول، سختی افزایش یافت که علت آن به پروتئین سویا نسبت داده شد. Aghakeshipour, Oladghaffari و Peighambarpust, Azadnard-Demirchi (۲۰۱۵) ویژگی‌های ماکارونی حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد پودر بزرک را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها حاکی از کاهش

برخی از بیماری‌ها میزان فیبر رژیمی در مواد غذایی افزایش یابد. فراورده‌های پاستا در کنار سایر محصولات غلات ممکن است سهم مؤثری در تأمین فیبر رژیمی غذاها داشته باشد. مردم کشورهایی که رژیم غذایی غنی از فیبر دارند، از سلامتی نسبی بالاتر و طول عمر بیشتر برخوردار هستند. مصرف این ترکیبات باعث کاهش چربی و قند خون، جلوگیری از سکت قلبی و مغزی، کاهش احتمال ابتلا به سرطان‌های روده و دستگاه گوارش و درمان چاقی می‌شود (Mosharraf, Kadivar, & Shahedi, 2009). مطالعه‌های مختلف نشان دادند که فیبرهای رژیمی با کاهش اشتها و جذب غذا و کنترل شاخص گلیسمی^۱ باعث کاهش کالری دریافتی می‌شوند (Giacco, Vitale, & Riccardi, 2016).

جو^۲، گیاه یکساله‌ای متعلق به خانواده Triticeae است و به لحاظ تکاملی نزدیک به دوگونه دیگر غلات، گندم و چاودار می‌باشد (Holopainen-Mantila, 2015). جو اگرچه در مقادیر کمتری نسبت به برنج و گندم مصرف می‌شود، اما منبع خوبی از فیبر، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات زیست‌فعال مانند فنول‌ها، کاروتنوئیدها، ویتامین E، اسید فیتیک، بتا-گلوکان و استرول‌هاست (Keenan et al., 2007). ترکیبات زیست‌فعال موجود در دانه کامل آن، مزایای سلامتی‌بخشی مانند خطر کاهش بیماری‌های مزمن نظیر بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت نوع ۲ و سرطان دارد (El Rabey, Al-Seen, & Amer, 2013; Pins & Kaur, 2006).

صمغ زانتان یک بیوپلیمر تجاری اصلی است، تولید آن در سال از منابع تجاری مختلف به بیش از ۲۰۰۰۰ تن می‌رسد که پلی‌ساکاریدی آنیونی است و توسط باکتری زانتاموناس کمپستر^۳ تولید می‌شود. صمغ زانتان پلی‌ساکاریدی با وزن مولکولی بالاست که ساختمان شیمیایی اولیه آن حاصل واحدهای پنتاساکاریدی از ۲ واحد گلوکز، ۲ واحد مانوز و ۱ واحد گلوکورونیک اسید در نسبت مولار ۲/۸ : ۰/۲ : ۰/۲ است. اسکلت اصلی شامل واحدهای گلوکز است که با پیوندهای گلیکوزیدی ۴-۱-β به یکدیگر متصل شده‌اند. زنجیره‌های جانبی در اطراف

^۱ Glycemic Index (GI)

^۲ *Hordeum vulgare* L.

^۳ *Xanthomonas campestris*

مراحل تولید نمونه اسپاگتی

جهت تولید اسپاگتی از دستگاه اکسترودر نیمه‌صنعتی (شرکت ماشین‌سازی سنبل، ساخت ایران) استفاده شد. ظرفیت کل دستگاه ۴۰ کیلوگرم در ساعت، سرعت چرخش ماردون ۲۵ دور در دقیقه، طول ماردون ۵۷۰ میلی‌متر و قطر ماردون ۷۰ میلی‌متر بود. مواد تشکیل‌دهنده اسپاگتی شامل آرد حاصل از گندم سخت (بسته به میزان جایگزینی ۴۰ تا ۶۰ درصد) و آب عاری از بو و طعم می‌باشد. گلوتن (۲ درصد) برای افزایش کیفیت آرد و زانتان (سطوح ۱ و ۲ درصد) سبوس جوی فراوری‌شده (سطوح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد) جهت افزایش ارزش تغذیه‌ای و کاهش کالری اضافه گردید. در ابتدا سبوس‌ها آسیاب و از الک با مش ۵۰ میکرومتر عبور داده شدند. مواد خشک (آرد، سبوس و گلوتن) در مخزن خمیرگیر کاملاً با یکدیگر مخلوط و سپس با مقدار مشخصی (بسته به میزان سبوس) آب با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط (حدود ۲۰ دقیقه) شدند. رطوبت نهایی خمیر باید در حدود ۳۰ درصد باشد. در مرحله بعدی خمیر به مدت ۱۰ دقیقه ورز داده شد. سپس خلأ حدود ۰/۷ بار در سیستم خمیرگیر اعمال گردید. در مرحله بعد خمیر با ورود به اکسترودر، تحت فشار بالا قرار گرفت. استوانه اکسترودر دارای ژاکت آب خنک بوده و درحین کار دمای خمیر در حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. هدف از اعمال فشار و خلأ زیاد خروج حباب‌های ریز هوا از داخل شبکه گلوتن و در نتیجه استحکام رشته‌ها و برآوردن آنها و نیز جلوگیری از ریزش و ترک خوردن آنها طی خشک‌شدن می‌باشد. پس از این مرحله خمیر از قالب رشته‌ای شکل (قطر ۱/۲ میلی‌متر) خارج شد. قالب استفاده‌شده در ساخت دستگاه تفلونی و به شکل رشته بلند است.

اسپاگتی‌ها پس از خروج روی میله‌ای قرار گرفتند و طی دو مرحله خشک شدند: در مرحله اول دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد به مدت ۱۲ ساعت و در مرحله دوم در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد به مدت ۴ ساعت خشک شدند (BINDER، ساخت آلمان). در مرحله خشک‌کردن، رطوبت رشته‌ها به ۱۲ درصد کاهش یافت. سپس نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرد شدند. در نهایت

معنی‌دار درصد رطوبت، خاکستر و درصد کل مواد جامد در آب پخت محصول همگام با افزودن پودر بزرک بود درحالی‌که وزن پخت، عدد اسیدی، عدد پراکسید، محتوای اسید لینولنیک و گاما توکوفرول نمونه‌ها افزایش یافت. Nasehi و Jooyandeh (۲۰۱۱) گزارش کردند که اسیدیته و رنگ اسپاگتی‌های غنی‌شده با آرد کامل سویا (۰ تا ۲۷ درصد) طی ۷ ماه نگهداری در دمای محیط به ترتیب افزایش و کاهش یافت. براساس نظر این محققین مدت زمان ماندگاری این نوع ماکارونی کمتر از نمونه شاهد می‌باشد.

فراورده‌های پاستا از محبوبیت زیادی در بین مصرف‌کنندگان برخوردار هستند اما از طرف دیگر بسیاری از مصرف‌کنندگان نگران میزان بالای کالری دریافتی از این فراورده‌ها می‌باشند. به همین دلیل امروزه تحقیقات زیادی در زمینه تولید فراورده‌های پاستا با کالری کاهش‌یافته و یا حتی کالری صفر انجام شده و حتی برخی از این فراورده‌ها، تجاری نیز شده‌اند. غنی‌سازی فراورده‌های پاستا با منابع فیبری نیاز به فرمولاسیون مناسب دارد، زیرا افزودن فیبر بالا به این محصولات خصوصیات بافتی و ارگانولپتیکی و پخت آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو انتخاب دقیق مقدار و نوع فیبر به منظور توسعه محصولی با طعم قابل قبول و ارزش غذایی بهبودیافته حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش تولید اسپاگتی غنی‌شده با سبوس جو به عنوان یک منبع فیبری بود. همچنین از صمغ زانتان نیز با هدف بهبود ویژگی‌های محصول استفاده شد و اثر این دو بر خصوصیات تکنولوژیکی، ساختاری و حسی ماکارونی با خصوصیات طعم و بافت قابل قبول مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

آرد سمولینا از شرکت آرد رضا (مشهد) تهیه شد. سبوس جوی فراوری‌شده (به روش غرقابی با هدف کاهش محتوای اسید فیتیک) از شرکت شهد زاگرس جهان (به‌مالت) واقع در چهارمحال و بختیاری خریداری شد. صمغ زانتان از نمایندگی شرکت فوفنگ^۱ چین خریداری شد.

^۱ Fufeng

Fellows, Blazek, & Gilbert, 2012a; Bustos, Pérez, & León, 2011a).

جذب آب

تغییر وزن نمونه بعد از زمان بهینه پخت به صورت درصد نسبت به وزن اولیه خام از رابطه (۱) گزارش شد (Aravind et al., 2012b).

رابطه (۱)

$$\text{جذب آب} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

در رابطه (۱) w_2 وزن نمونه پس از پخت و w_1 وزن نمونه اولیه می باشد.

میزان از دست دادن مواد جامد در آب پخت (افت پخت)^۱ ۵ گرم از اسپاگتی با طول ۳/۵ سانتی متر در زمان بهینه پخت تهیه شدند. نمونه ها با آب مقطر شسته و آب شست و شو و آب حاصل از پختن جمع شده و در آن ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شدند و ماده خشک حاصل به صورت درصد نسبت به وزن اولیه اسپاگتی خام گزارش شد (Aravind et al., 2012b).

تعیین شاخص تورم

شاخص تورم پس از زمان بهینه پخت اسپاگتی عبارت از وزن بخش آبی موجود در اسپاگتی پخته شده است و از طریق خشک کردن اسپاگتی پخته در دمای ثابت ۱۰۵ درجه سانتی گراد اندازه گیری شد (Aravind et al., 2012b).

رنگ

ابتدا تصاویر رشته های اسپاگتی خشک و پخته (در زمان بهینه) توسط اسکنر (HP، مدل Scanjet-3770، ساخت آمریکا) اسکن شدند. سپس از نرم افزار ImageJ (نسخه ۱.۴۸a) برای اندازه گیری فاکتورهای رنگ استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا قسمت های مورد نظر توسط نرم افزار انتخاب شد. سپس تغییرات رنگ نمونه ها در فضای رنگی Lab مورد بررسی قرار گرفت. L^* درخشندگی و روشنایی جزء است که دامنه آن بین صفر تا ۱۰۰ می باشد. پارامترهای a^* از سبز به قرمز و b^* از آبی به زرد است که مقدار این دو مؤلفه رنگی از ۱۲۰ تا ۱۲۰ متغیر است. در

نمونه ها بسته بندی و تا زمان انجام آزمون در جای خشک نگهداری شدند.

مقادیر جایگزینی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد برای سبوس جو و غلظت های ۱ و ۲ درصد برای صمغ زانتان انتخاب شد. نمونه اسپاگتی تهیه شده با آرد گندم و بدون زانتان به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد.

آزمون ها

رطوبت

میزان رطوبت نمونه های اسپاگتی خشک براساس استاندارد شماره ۹۲۵/۱۰ (AOAC, 2005b) ارزیابی شد. بدین منظور نمونه ها در آون (Mettler، ساخت آلمان) در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونه ها پس از خروج از آون در دسیکاتور سرد و میزان رطوبت بر مبنای افت وزن محاسبه و به صورت درصد گزارش گردید (AOAC, 2005b).

خاکستر

مقدار خاکستر براساس استاندارد شماره ۹۲۳/۰۳ (AOAC, 2005a) تعیین شد. جهت اندازه گیری میزان خاکستر، ۳ گرم از نمونه اسپاگتی را در کروزه ای با وزن مشخص ریخته و روی آتش تا خروج کامل دود قرار گرفت. سپس در کوره (Excitation، ساخت آلمان) در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد تا سفید شدن کامل نمونه حرارت داده شد. افت وزنی پس از سرد شدن نمونه در دسیکاتور محاسبه و میزان خاکستر بر مبنای درصد گزارش گردید (AOAC, 2005a).

تعیین زمان پخت بهینه

جهت تعیین زمان پخت بهینه نمونه ها، ۵ گرم از رشته های اسپاگتی به طول تقریبی ۳/۵ سانتی متر برش داده شدند و در ۲۰۰ میلی لیتر آب جوش (۹۹ درجه سانتی گراد) قرار گرفتند. زمان بهینه پخت براساس زمان ناپدید شدن مرکز نشاسته ای رشته ها مشخص گردید. جهت اطمینان از پخته بودن، حداقل سه رشته اسپاگتی برای تأیید پخت کامل با عمل فشردن مورد آزمون قرار گرفتند. پارامترهای افت پخت، جذب آب، شاخص تورم، بافت، رنگ و ارزیابی حسی پس از تهیه در شرایط بهینه پخت مورد ارزیابی قرار گرفت (Aravind, Sissons, 2012).

¹ Loss factor

آزمون حسی

ارزیابی حسی نمونه‌های اسپاگتی پس از پخت در شرایط بهینه پخت انجام شد. خصوصیات حسی شامل رنگ، عطر و طعم، نشاسته‌ای شدن، الاستیسیته، سفتی، فیبری شدن، قابلیت جویدن، توده‌ای شدن، صمغی شدن، چسبندگی، یکپارچگی و پذیرش کلی با همکاری ۱۵ نفر داور چشایی انجام شد. داوران از بازه سنی ۲۴ تا ۳۰ سال و از دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته علوم و صنایع غذایی انتخاب شدند. آموزش لازم در خصوص فاکتورهای حسی مورد بررسی به داوران داده شد و نمونه‌ها از سوی داوران مورد ارزیابی قرار گرفت. به داوران توصیه شد برای رفع اثر هر نمونه بر نمونه دیگر، در میان صرف هر دو نمونه مقداری از نوشیدنی گرمی که در اختیار آنها قرار گرفته بود، بنوشند. به منظور ارزیابی نمونه‌ها از مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد (Padalino et al., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری

تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام شدند. داده‌ها از طریق طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب نسخه ۱۶ تجزیه و تحلیل شدند. نتایج توسط تجزیه واریانس دوطرفه (ANOVA^۵) و اختلاف بین میانگین‌ها به روش آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار Microsoft Excel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مواد اولیه

جدول (۱) ویژگی‌های آرد و سایر مواد اولیه مصرفی در این پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار رطوبت و کربوهیدرات آرد به‌طور مشخص و قابل توجهی بالاتر از سایر مواد اولیه است در حالی که محتوای پروتئین، چربی، خاکستر و فیبر رژیمی آن نسبت به سایر مواد اولیه مورد استفاده بسیار کمتر است. از دیگر موارد شاخص در جدول (۱)، مقدار پایین فیبر رژیمی در سبوس جوی فراوری شده و مقدار متمایز و بالای آن در زانتان است که به تفاوت در مقدار کربوهیدرات آنها منتهی شده است.

مقایسه با مدل‌های رنگ دیگر مانند RGB، در $L^*a^*b^*$ فضای ادراک رنگ یکنواخت است و بنابراین، تفاوت دو رنگ اغلب با تفاوت رنگی درک شده توسط چشم انسان مطابقت دارد (Pedreschi, Leon, Mery, & Moyano, 2006).

ارزیابی بافت

تک‌رشته اسپاگتی قبل و بعد از پخت (در زمان بهینه) توسط دستگاه بافت‌سنج (TA-XT Plus Texture Analyser، ساخت انگلستان) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون برش توسط پروب تیغه‌ای شکل (BLADE, HDP/BSW) با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه و تغییر شکل ۵۰ درصد انجام گردید. پارامترهای سفتی^۱، قوام^۲ و چسبندگی^۳ در آزمون بافت‌سنجی برای نمونه‌های پخته شده و پارامتر سختی (به روش مشابه سفتی نمونه پخته شده) برای اسپاگتی خام مورد ارزیابی قرار گرفتند. تمام آزمایش‌ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد (Irie, Horigane, Naito, Motoi, & Yoshida, 2004).

ریزساختار

تصاویر عرضی نمونه‌های اسپاگتی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا رشته‌های اسپاگتی با اندازه ۵ سانتی‌متر تا زمان بهینه پخته شدند. سپس آبکشی شده و بلافاصله در مجاورت نیتروژن مایع منجمد شدند. نمونه‌های منجمد شده با استفاده از خشک‌کن انجمادی خشک شده و تا زمان تصویربرداری در دسیکاتور نگهداری شدند. جهت تصویربرداری رشته‌های خشک شده به اندازه مشخصی برش داده شده و با لایه‌ای از طلا پوشش‌دهی شدند و با استفاده از دستگاه SEM (Tescan، مدل Mira3، ساخت چک) در ولتاژ ۱۰ کیلوولت با بزرگ‌نمایی ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ مورد مطالعه قرار گرفتند (Kim, Kim, Bae, 2017; Chang, & Moon, 2017).

¹ Hardness

² Consisten

³ Adhesiveness

⁴ Scanning Electron Microscopy (SEM)

⁵ Analysis of Variance

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد اولیه مورد استفاده (برحسب درصد وزن مرطوب)

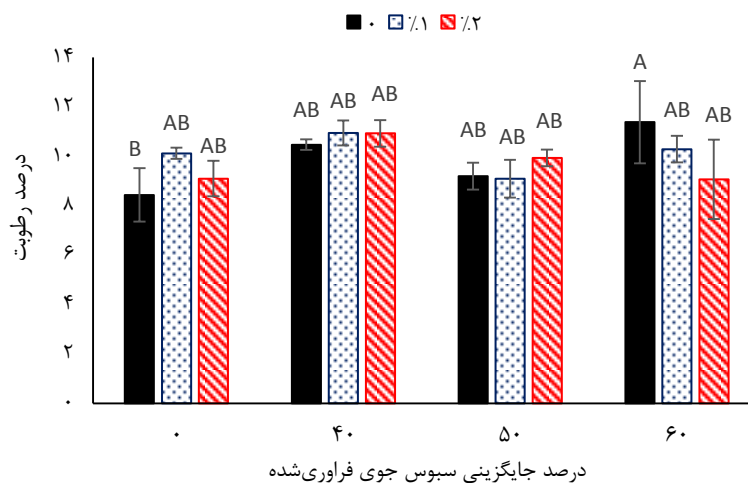
ماده اولیه	رطوبت	خاکستر	پروتئین	فیبر رژیمی	چربی	کربوهیدرات
آرد	۱۱/۲۸±۰/۵۳	۰/۵۶±۰/۰۲	۹/۵۰±۱/۱۲	۱/۴۷±۰/۳۴	۰/۲۰±۰/۰۲۱	۷۶/۹۹
سبوس جوی فراوری شده	۷/۲۱±۰/۴۸	۵/۸۴±۰/۱۹	۱۷/۱۵±۱/۱۶	۲۰/۴۰±۱/۶۷	۴/۰۰±۰/۳۱	۴۵/۴۱
زانتان	۴/۴۷±۰/۲۱	۴/۶۹±۰/۰۵	۰/۰۰	۹۰/۰۱±۲/۶۵	۰/۱۰±۰/۰۲	۰/۰۰

* اعداد ± انحراف معیار

رطوبت

شکل (۱) مقدار رطوبت نمونه‌های اسپاگتی حاوی درصد‌های مختلف سبوس و زانتان را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از این مطلب بود که تنها رطوبت نمونه فاقد سبوس جو و زانتان و نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس جو و فاقد زانتان با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند ($P < 0.05$) که به ترتیب کمترین (۸/۴ درصد) و بیشترین (۱۱/۴ درصد) مقدار رطوبت را نیز به نمایش گذاشتند. بین رطوبت سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). افزایش غلظت سبوس جوی فراوری شده و همچنین افزایش مقدار زانتان تغییر معنی‌داری در رطوبت نمونه‌های اسپاگتی به همراه نداشت. عدم تغییر معنی‌دار رطوبت

نمونه‌های اسپاگتی می‌توان به این امر مرتبط باشد که رشته‌های اسپاگتی پس از تولید طی زمان مشخصی خشک می‌شوند و طی این مدت رطوبت خود را تا حد زیادی از دست می‌دهند و تقریباً به رطوبت یکسان و تعادلی می‌رسند. به همین دلیل مشاهده شده که تنها در سطح ۶۰ درصد سبوس که میزان فیبر بالاست به دلیل قابلیت بالای فیبر در نگهداری آب، رطوبت اندکی افزایش یافته است. Musavi, Mohammadzadeh Milani و Ruzbeh Nasiraie (۲۰۱۶) نشان دادند که افزایش میزان سبوس گندم تا ۲۰ درصد تأثیر معنی‌دار بر رطوبت پاستای پیکولی نداشت، اما در مقدار سبوس ۳۰ درصد، رطوبت اندکی افزایش یافت که علت آن را ظرفیت بالای نگهداری آب توسط فیبر سبوس گندم اعلام کردند.



شکل ۱- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و صمغ زانتان بر رطوبت نمونه‌های اسپاگتی؛ ■: صفر، ■: ۱ و ■: ۲ درصد زانتان

حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$). میله‌های رسم شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

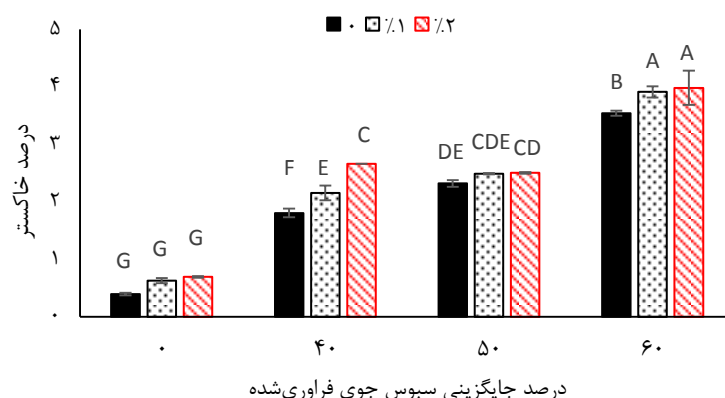
خاکستر

نتایج تجزیه و آریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور زانتان و جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر مقدار خاکستر نمونه‌های اسپاگتی بود ($P < 0.05$). شکل (۲) اثر درصد‌های مختلف سبوس جوی فراوری شده و صمغ زانتان را بر مقدار خاکستر نمونه‌های اسپاگتی نشان می‌دهد.

نتایج حاکی از این مطلب بود که به طور کلی حضور سبوس جوی فراوری شده با افزایش قابل توجه و معنی‌دار میزان خاکستر نمونه‌های اسپاگتی نسبت به نمونه‌های فاقد آن همراه بود ($P < 0.05$). همچنین حضور زانتان نیز به افزایش مقدار خاکستر نمونه‌های اسپاگتی منجر گردید. این نتایج باتوجه به مقدار بالای خاکستر در سبوس جو و

نمونه‌ها به صورت معنی‌دار افزایش یافت. بیشترین مقدار خاکستر (۳/۹ درصد) به نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس جو و ۲ درصد زانتان و کمترین آن (۰/۴ درصد) به نمونه فاقد سبوس و زانتان مربوط بود.

زانتان (جدول ۱) قابل انتظار بود. افزایش غلظت زانتان از ۱ به ۲ درصد، فقط در نمونه ۴۰ درصد سبوس جوی فراوری شده با تغییر معنی‌دار خاکستر همراه بود ($P < 0.05$). در نمونه‌های فاقد زانتان با افزایش مقدار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده، مقدار خاکستر



شکل ۲- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و صمغ زانتان بر خاکستر نمونه‌های اسپاگتی؛ ■: صفر، □: ۱ و ▨: ۲ درصد زانتان

حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$). میله‌های رسم شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

جذب آب

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و همچنین افزودن زانتان بر درصد جذب آب نمونه‌های اسپاگتی بود ($P < 0.05$). اثر مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری شده و زانتان بر جذب آب نمونه‌های اسپاگتی در شکل (۳-الف) نشان داده شده است. به طور کلی نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار جذب آب در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری شده در مقایسه با نمونه‌های فاقد آن بود. Kurek, Wyrwicz, Piwińska و Wierzbička (۲۰۱۵) ویژگی‌های فیزیکی و جذب آب پاستای سمولینای گندم دوروم خشک شده تحت خلأ با پودر جوی دوسر با فیبر بالا در مقادیر صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که بالاترین میزان جذب آب در نمونه‌های حاوی ۱۲ درصد مشاهده شد. علت کاهش جذب آب در مقادیر بالاتر (۱۶ و ۲۰ درصد) می‌تواند به ازهم‌گسیختگی ماتریس نشاسته-پروتئین در حضور پودر جوی دوسر مربوط باشد. جذب آب بیشتر به تعداد بیشتر گروه‌های هیدروکسیل در فیبر نسبت به سمولینا مربوط می‌شود که امکان برهمکنش‌های آب بیشتر را با گروه‌های هیدروکسیل فراهم می‌کند.

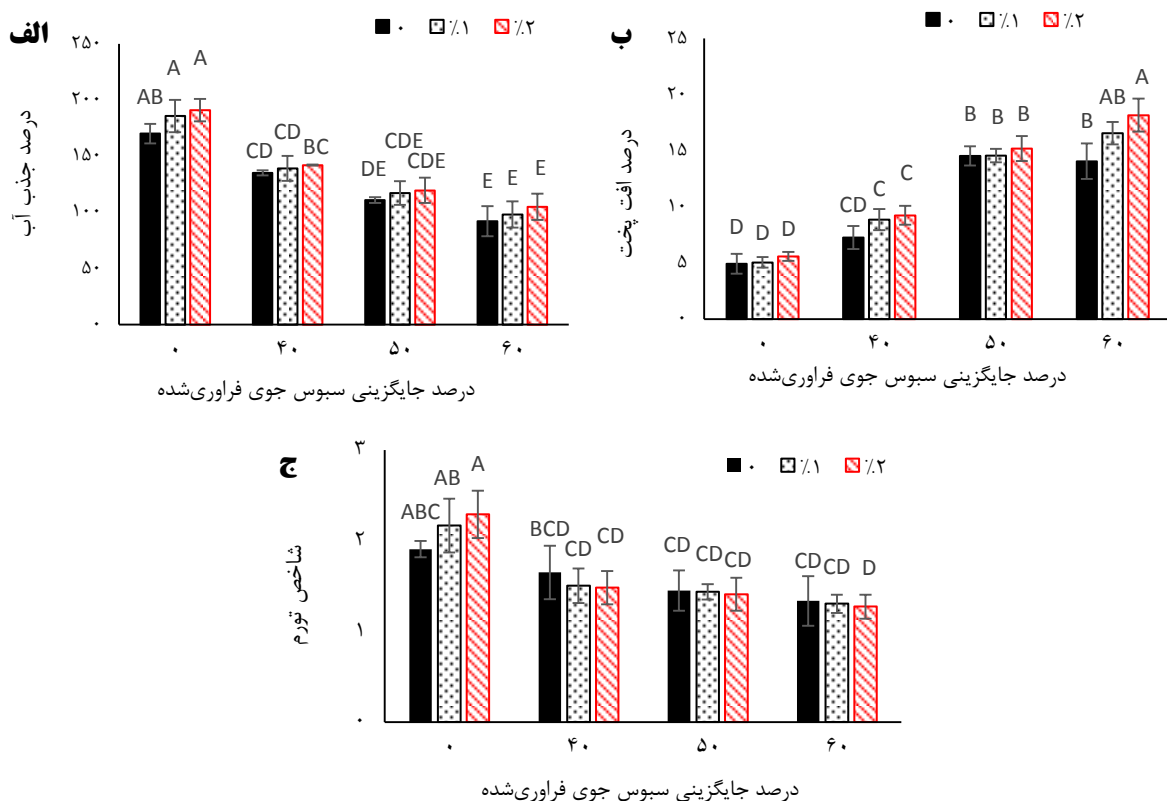
با افزایش مقدار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده روند نزولی در میزان جذب آب نمونه‌های حاوی و فاقد زانتان مشاهده شد درحالی‌که حضور و افزایش مقدار زانتان در تمام نمونه‌های اسپاگتی (حاوی و فاقد سبوس جوی فراوری شده) با تغییر معنی‌دار در میزان جذب آب آنها همراه نبود ($P > 0.05$). کمترین مقدار جذب آب (۹۲/۱ درصد) در نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس جوی فراوری شده و فاقد زانتان و بیشترین آن (۱۹۱/۱ درصد) در نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان مشاهده شد. Manthey و de la Peña (۲۰۱۴) اثر نسبت‌های مختلف سمولینا: آب (۴۰۰:۱۳، ۴۰۰:۲۷ و ۴۰۰:۴۸ گرم) و اجزاء غیرسنتی (۲۰ درصد از آردهای ذرت، دانه کتان، عدس، جوی دوسر، سویا و لوبیاجیتی) روی ویژگی‌های پخت اسپاگتی بررسی کردند. طبق نتایج آنها بالاترین مقدار جذب آب به جوی دوسر مربوط بود که بالاترین مقدار فیبر را نیز داشت.

اُفت پخت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر درصد اُفت پخت نمونه‌های اسپاگتی

تراوش مواد جامد بیشتر از پاستا به داخل آب پخت منتهی می‌شوند. آفت پخت ممکن است به تراوش آمیلوز و حلالیت برخی پروتئین‌های محلول مربوط باشد (Piwińska et al., 2015). به‌طور کلی نتایج گویای این مطلب بود که جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد گندم در فرمول همه نمونه‌های اسپاگتی (فاقد و حاوی زانتان) منجر به افزایش معنی‌دار آفت پخت نسبت به نمونه شاهد گردید ($P < 0.05$). نتایج Piwińska و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد با افزایش مقدار فیبر جوی دو سر به بیش از ۱۲ درصد آفت پخت افزایش می‌یابد.

اثر معنی‌دار داشت ($P < 0.05$). شکل (۳-ب) اثر متقابل جایگزینی مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری‌شده و صمغ زانتان را بر درصد آفت پخت نمونه‌های اسپاگتی نشان می‌دهد. به دلیل حضور فیبر، از هم گسیختگی فیزیکی ماتریس گلوتن ممکن است نفوذ آب به داخل پاستا را تسهیل کند. پروتئین گندم شامل گلیادین و گلوتنین است که پیوندهای داخل و خارج مولکولی دی‌سولفید را طی فرایند تشکیل می‌دهند که به تشکیل شبکه گلوتن منتهی می‌شود. این شبکه مسئول ویژگی‌های بافتی پاستاست. افزودن مواد غیرگلوتنی ممکن است استحکام گلوتن را کمتر و ساختار کلی را تضعیف کنند، در نتیجه به



شکل ۳- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد و صمغ زانتان بر ویژگی‌های پختی پخت نمونه‌های اسپاگتی (■: صفر، □: ۱ و ▨: ۲ درصد زانتان)؛ الف: جذب آب، ب: آفت پخت، ج: شاخص تورم حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$). میله‌های رسم‌شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

جوی فراوری‌شده و ۲ درصد زانتان و کمترین آن (۴/۹ درصد) در نمونه فاقد سبوس و فاقد زانتان مشاهده شد. به نقل از Bustos و همکاران (۲۰۱۱b) وقتی غلظت سبوس جوی دوسر پایین است فیبرها ممکن است پراکنده شوند و در داخل ماتریس نشاسته مخلوط شوند درحالی‌که در مقادیر بالا ماتریس می‌تواند توسط ذرات سبوس از

در نمونه فاقد سبوس حضور و افزایش غلظت زانتان با تغییر معنی‌دار در مقدار آفت پخت همراه نبود درحالی‌که در نمونه‌های حاوی ۶۰ درصد سبوس جوی فراوری‌شده افزایش غلظت زانتان از صفر به ۲ درصد مقدار آفت پخت را به ترتیب ۱۴/۱ به ۱۸/۲ درصد افزایش داد. بیشترین آفت پخت (۱۸/۲ درصد) به نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس

شاهد (۱۰ دقیقه) افزایش یافت. این امر می‌تواند به دلیل کاهش نفوذ آب در ماتریس اسپاگتی در حضور صمغ گوار باشد که به دنبال آن زمانی که نیاز است آب به مرکز اسپاگتی برسد را طی فرایند پخت افزایش می‌دهد. همچنین بررسی روند تغییرات حاکی از این است که در نمونه حاوی ۵۰ درصد سبوس جوی فراوری شده نسبت به نمونه فاقد سبوس زمان پخت از ۱۵ به ۱۰ دقیقه کاهش یافت و در ادامه ثابت مانده است که می‌تواند به علت تضعیف شبکه گلوته و در نتیجه تسهیل نفوذ آب به داخل بافت باشد. در تأیید نتایج پژوهش حاضر de la Peña و Manthey (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که با افزایش نسبت جوی دوسر در فرمول پاستا زمان پخت کاهش می‌یابد.

جدول ۲- زمان پخت (دقیقه) نمونه‌های اسپاگتی حاوی مقادیر مختلف زانتان و سبوس جو

تیمار	درصد سبوس	درصد زانتان		
		۰	۱	۲
	۰	۱۵	۱۵	۱۴/۵
سبوس جوی	۴۰	۱۲	۱۲	۱۲
فراوری شده	۵۰	۱۰	۱۰	۱۰
	۶۰	۱۰	۱۰	۱۰

این محققین بیان کردند که زمان پخت به مقدار گلوته وابسته است و با کاهش مقدار گلوته زمان پخت نیز کاهش می‌یابد. کاهش زمان پخت به افزایش نفوذ آب به دلیل حضور اجزای غیرآردی (گلوته) نسبت داده می‌شود. حضور این اجزاء باعث تضعیف و از هم گسیختگی ماتریس گلوته شده و نفوذ آب را تسهیل می‌کند و در نتیجه زمان پخت کاهش می‌یابد. زمان پخت به طور مثبت با محتوای کربوهیدراتی و به طور منفی با محتوای لیپیدی همبستگی دارد (de la Peña & Manthey, 2014).

پارامترهای رنگی

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار جایگزینی مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری شده با آرد و حضور زانتان بر شاخص‌های رنگی رشته‌های اسپاگتی پخته بود ($P < 0.05$). شکل (۴) پارامترهای a^* ، b^* و L^* اسپاگتی پخته را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که شاخص b^* در تمام نمونه‌های حاوی سبوس و فاقد زانتان نسبت به انواع فاقد سبوس افزایش معنی‌دار یافت ($P < 0.05$). همچنین

هم‌گسیخته شود که تورم و پارگی گرانول‌های نشاسته را تسهیل کرده و آفت پخت را افزایش می‌دهند. افزودن صمغ گوار به اسپاگتی‌های تهیه‌شده با ۱۵ درصد آرد نخود، مقدار آفت پخت را کاهش داد که علت آن تشکیل شبکه در اطراف گرانول‌های نشاسته توسط صمغ گوار است که آنها را طی پخت پوشانده و از تورم مازاد جلوگیری کرده و نفوذ آمیلوز را محدود می‌کند (Padalino et al., 2014).

شاخص تورم

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر شاخص تورم نمونه‌های اسپاگتی بود ($P < 0.05$). شکل (۳-ج) شاخص تورم را در نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری شده و صمغ زانتان نشان می‌دهد. شاخص تورم در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری شده کمتر از نمونه‌های فاقد آن بود که این کاهش در نمونه ۵۰ و ۶۰ درصد سبوس جو معنی‌دار بود ($P < 0.05$). حضور زانتان در نمونه‌های حاوی سبوس تأثیر معنی‌داری بر شاخص تورم نداشت ($P > 0.05$). اما حضور زانتان در نمونه‌های شاهد باعث افزایش میزان تورم شد که این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). گزارش شده است که حضور صمغ گوار به افزایش شاخص تورم اسپاگتی‌های حاوی ۱۵ درصد آرد نخود منتهی شد که علت آن به ظرفیت بیشتر صمغ گوار برای جذب و حفظ آب طی تشکیل شبکه توسعه‌یافته نشاسته-پروتئین-پلی‌ساکارید مربوط است (Padalino et al., 2014).

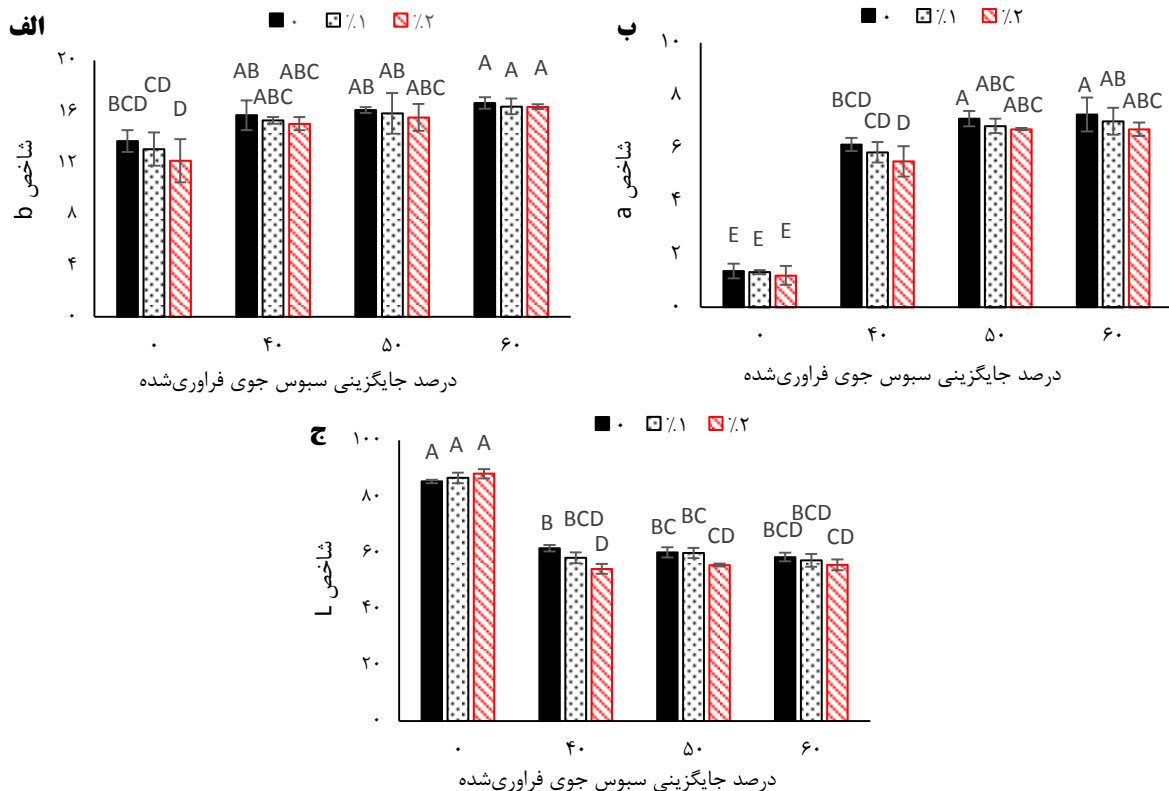
بیشترین شاخص تورم (۲/۳) در نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان و کمترین آن (۱/۳) در نمونه‌های حاوی ۶۰ درصد سبوس و ۲ درصد زانتان مشاهده شد.

زمان پخت

اثر جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و افزودن زانتان بر زمان پخت نمونه‌های اسپاگتی در جدول (۲) ارائه شده است. بیشترین زمان پخت (۱۵ دقیقه) در نمونه‌های فاقد سبوس جو و زانتان مشاهده شد. نتایج بیانگر عدم تأثیر زانتان بر زمان پخت بود. در مغایرت با نتایج پژوهش حاضر، Padalino و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که در اسپاگتی‌های تهیه‌شده با ۱۵ درصد آرد نخود، زمان پخت با افزودن صمغ گوار (۱۲ دقیقه) در مقایسه با

نمونه‌های فاقد سبوس مقدار شاخص b^* را کاهش داد که از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($P>0/05$). بیشترین شاخص b^* (۱۶/۷) به نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس و فاقد درصد زانتان و کمترین آن (۱۲/۲) به نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان مربوط بود.

افزایش میزان جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده (شکل ۴-الف) به افزایش شاخص b^* منجر شد، اگرچه این افزایش معنی‌دار نبود ($P>0/05$). حضور زانتان در نمونه‌های دارای سبوس تأثیر معنی‌داری نداشت ($P>0/05$). افزایش غلظت زانتان از ۱ به ۲ درصد در



شکل ۴- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد و صمغ زانتان بر پارامترهای رنگی نمونه‌های اسپاگتی پخته: ■: صفر، □: ۱ و ▨: ۲ درصد زانتان
حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P<0/05$). میله‌های رسم‌شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

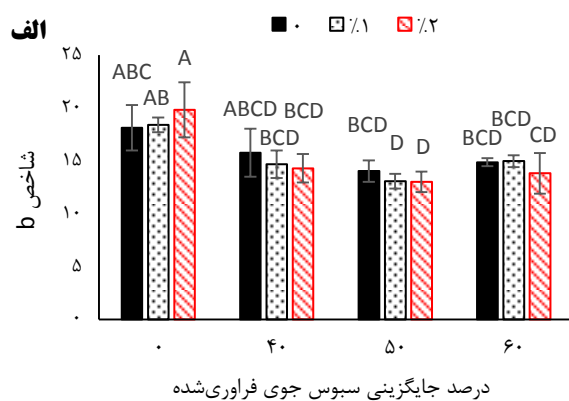
بیانگر این مطلب بود که افزایش مقدار جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده و همچنین حضور و افزایش غلظت زانتان (شکل ۴-ج) بر شاخص L^* تأثیر معنی‌داری نداشت ($P>0/05$). اگرچه حضور صمغ زانتان در غلظت ۲ درصد در نمونه ۴۰ درصد سبوس باعث کاهش معنی‌دار شاخص L^* شد ($P<0/05$). بیشترین شاخص L^* (۸۸/۱) به نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان و کمترین شاخص L^* (۵۴/۲) به نمونه حاوی ۴۰ درصد سبوس و ۲ درصد زانتان مربوط بود.

تغییرات رنگی اسپاگتی‌ها علاوه بر حضور فیبرهای تیره، می‌تواند به واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد که طی

به‌طور کلی طبق شکل (۴-ب) جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد در همه نمونه‌ها با افزایش چشمگیر و معنی‌دار شاخص a^* همراه بود ($P<0/05$)، درحالی‌که با افزایش میزان جایگزینی سبوس جو از ۵۰ به ۶۰ درصد و همچنین حضور و افزایش غلظت زانتان تغییر معنی‌داری در شاخص a^* مشاهده نشد ($P>0/05$). کمترین شاخص a^* (۱/۲) به نمونه فاقد سبوس و بیشترین آن (۷/۳) به نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس و فاقد زانتان مربوط بود.

به‌طور کلی نتایج نشان داد که جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد به کاهش معنی‌دار شاخص L^* نمونه‌های اسپاگتی پخته همراه بود ($P<0/05$). نتایج

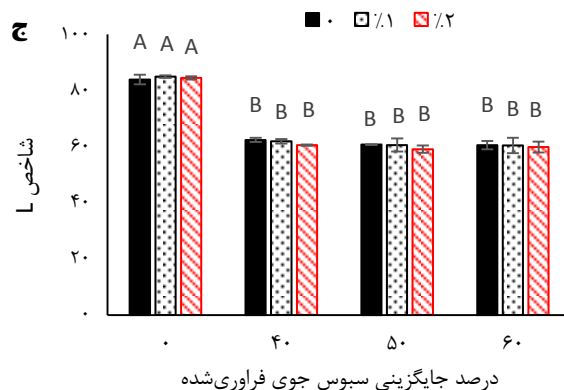
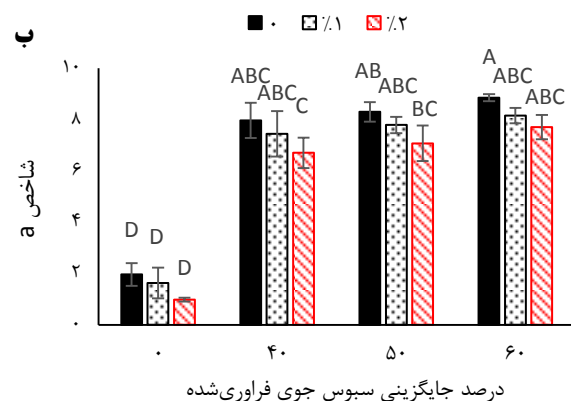
بر پارامترهای رنگی اسپاگتی خام بود ($P < 0.05$). شکل (۵) پارامترهای رنگی نمونه‌های اسپاگتی خام را نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتایج بیانگر کاهش غیرمعنی‌دار شاخص b در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری‌شده فاقد زانتان بود ($P < 0.05$). در صورتی که با افزایش درصد سبوس در نمونه‌های حاوی صمغ، کاهش معنی‌دار در میزان شاخص b^* مشاهده شد ($P < 0.05$). حضور زانتان و افزایش غلظت آن با تغییر معنی‌دار در شاخص نمونه‌های فاقد و یا حاوی سبوس (شکل ۵-الف) همراه نبود ($P > 0.05$). کمترین شاخص b^* (۱۳) در نمونه‌های با ۵۰ درصد جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده و حاوی ۱ و ۲ درصد زانتان مشاهده شد.



فرایند اکستروژن رخ می‌دهد نیز مربوط باشد (Gajula, 2008; Alavi, Adhikari, & Herald, 2008).

در مطالعه اثر صمغ‌های CMC، زانتان و گوار روی ویژگی‌های نودل‌های برنج تخمیرشده طبیعی خشک‌شده، Srikao, Laothongsan و Lerdluksamee (۲۰۱۸) بیان کردند که با افزودن صمغ رنگ نودل‌ها نسبت به نمونه شاهد روشن‌تر شد چون شاخص L^* بالاتری را نشان دادند. علاوه بر این حضور صمغ‌ها باعث شد که رنگ نودل به سمت سبزی و زردی شیف‌ت پیدا کند به استثنای نمونه حاوی CMC که زردی کمتری نسبت به شاهد داشت.

نتایج تجزیه واریانس گویای اثر معنی‌دار جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد و همچنین حضور زانتان



شکل ۵- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد و صمغ زانتان بر پارامترهای رنگی نمونه‌های اسپاگتی خام: ■: صفر، □: ۱ و ▨: ۲ درصد زانتان

حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$). میله‌های رسم‌شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

نمونه‌ها تغییر معنی‌داری در شاخص a^* مشاهده نشد. همچنین افزایش جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد از ۴۰ به ۶۰ درصد نیز تغییر معنی‌داری را در شاخص a ایجاد نکرد ($P > 0.05$). بیشترین شاخص a^* (۸/۹) به

طبق نتایج شاخص a^* به‌طور قابل‌توجه و معنی‌دار در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری‌شده در مقایسه با نمونه‌های فاقد سبوس افزایش یافت ($P < 0.05$). با حضور و افزایش غلظت زانتان (شکل ۵-ب) در هیچ‌یک از

نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس و فاقد زانتان و کمترین آن (۰/۹۸) به نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان مربوط بود. Wang و همکاران (۲۰۱۸) فیبر سبوس برنج^۱ را در مقادیر ۵ تا ۲۵ درصد (براساس وزن خشک) با آرد برنج جهت تهیه پاستای برنج مخلوط کردند. نتایج آنها حاکی از تیره، قرمزتر و زردتر شدن پاستای برنج بود. همان‌طور که مقدار RBF از ۵ به ۲۵ درصد افزایش یافت، L^* با شیب تند از ۸۵/۴۵ به ۷۷/۷۴ کاهش یافت درحالی‌که a^* و b^* از ۲/۵۴ و ۷/۹ به ۴/۳۷ و ۱۰/۳ افزایش یافت. همچنین نتایج آنها نشان داد که رنگ پاستای برنج خشک با افزایش RBF تیره‌تر شد.

نتایج نشان داد که شاخص L^* در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری شده به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از نمونه‌های فاقد سبوس بود ($P < ۰/۰۵$)، درحالی‌که افزایش میزان جایگزینی سبوس جوی فراوری شده و همچنین حضور و افزایش غلظت زانتان (شکل ۵-ج) تغییر معنی‌داری در شاخص L^* نمونه‌های اسپاگتی خام ایجاد نکرد ($P > ۰/۰۵$). Piwińska و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی ویژگی‌های پاستای سمولینای گندم دوروم خشک‌شده تحت‌خلأ با پودر جوی دوسر با فیبر بالا (۴ تا ۲۰ درصد) گزارش کردند که غنی‌سازی پاستا با فیبر جوی دوسر به‌طور معنی‌دار روشنی پاستای خشک را کاهش داد. افزایش معنی‌دار در قرمزی و کاهش در زردی در نمونه‌های حاوی بیش از ۴ درصد فیبر جوی دوسر مشاهده شد.

بافت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر حضور صمغ زانتان و جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر سفتی رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$). جدول (۳) اثر جایگزینی با سبوس جوی فراوری شده و زانتان را بر ویژگی‌های بافتی رشته‌های اسپاگتی پخته و خام نشان می‌دهد. در نمونه‌های فاقد زانتان جایگزینی سبوس جو به کاهش معنی‌دار سفتی رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده منجر شد ($P < ۰/۰۵$)، درحالی‌که حضور ۲ درصد زانتان باعث افزایش معنی‌دار سفتی نمونه‌های

حاوی سبوس همگام با افزایش مقدار آن شد که با نتایج پژوهش de la Peña و Manthey (۲۰۱۴) هم‌راستا بود. برخلاف نمونه‌های فاقد سبوس در نمونه‌های حاوی سبوس افزایش مقدار زانتان بر سفتی رشته‌های اسپاگتی تأثیر مثبت افزایشی داشت ($P < ۰/۰۵$). نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس جو و ۲ درصد زانتان بیشترین مقدار سفتی (۲۸/۶) و نمونه فاقد زانتان و حاوی ۵۰ درصد سبوس کمترین میزان سفتی (۱۵/۱) را به نمایش گذاشتند. سبوس اندازه ذرات بزرگ‌تری نسبت به سایر ترکیب دانه‌ها مانند پروتئین و نشاسته دارد. بنابراین اثر فیبر در ازهم‌گسیختگی ماتریس گلوتن بسیار بیشتر است و منجر به تولید محصولی با قدرت پروتئینی ضعیف می‌شود که ممکن است طی فرایند پخت مقداری ازهم‌گسیخته شود (de la Peña & Manthey, 2014). Padalino و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی ویژگی‌های اسپاگتی بر پایه ذرت غنی‌شده با آرد خلر در حضور صمغ‌های پکتین، گوار و آگار (۲ درصد) توضیح دادند که سختی اسپاگتی‌ها در حضور هیدروکلوئید افزایش یافت، درحالی‌که چسبندگی آنها کمتر از نمونه شاهد بود. به نظر می‌رسد وجود ترکیبات زبر سلولزی و لیگنینی در سبوس باعث افزایش سفتی نمونه‌های اسپاگتی شده است و حضور صمغ زانتان با افزایش جذب آب، بافت را منعطف‌تر کرده و سفتی را کاهش می‌دهد اما این اثر معنی‌دار نیست.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر چسبندگی رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$)، درحالی‌که حضور صمغ زانتان در فرمول تأثیر معنی‌داری بر چسبندگی رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده نداشت ($P > ۰/۰۵$). در تمام نمونه‌ها جایگزینی سبوس جوی فراوری شده تفاوت معنی‌داری در چسبندگی نمونه‌ها ایجاد نکرد ($P > ۰/۰۵$). کمترین چسبندگی در نمونه شاهد (۰/۴۶ گرم ثانیه) و بیشترین آن در نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس و فاقد زانتان (۱/۳ گرم ثانیه) مشاهده شد. هیدروکلوئیدها به نشاسته محلول در آب اتصال یافته و در نتیجه باعث بهبود بافت و کاهش چسبندگی می‌شوند. همچنین هیدروکلوئیدها شبکه پایدار تشکیل داده که گرانول‌های نشاسته در این شبکه به‌دام‌افتاده و به رهاپیش

¹ Rice Bran Fiber (RBF)

آهسته آمیلوز طی پخت منجر می‌شود (Padalino et al., 2015).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر حضور صمغ زانتان و جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر قوام رشته‌های اسپاگتی پخته شده معنی دار بود ($P < 0.05$). در نمونه‌های فاقد زانتان، جایگزینی سبوس تا ۴۰ درصد با کاهش معنی دار قوام رشته‌های اسپاگتی همراه بود اما در درصدهای بالاتر تغییر معنی داری مشاهده نشد ($P > 0.05$)، درحالی که در نمونه‌های حاوی ۲ درصد زانتان

افزایش درصد جایگزینی سبوس با افزایش قوام رشته‌های اسپاگتی پخته همراه بود. همچنین نتایج نشان داد که برخلاف نمونه‌های فاقد سبوس، در اسپاگتی‌های حاوی ۶۰ درصد سبوس افزایش مقدار زانتان از ۱ به ۲ درصد با افزایش معنی دار قوام همراه بود ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین قوام رشته‌های اسپاگتی به ترتیب به نمونه‌های حاوی ۶۰ درصد سبوس و ۲ درصد زانتان (۱۲/۱ گرم ثانیه) و حاوی ۴۰ درصد سبوس و فاقد زانتان (۵/۰ گرم ثانیه) مربوط بود.

جدول ۳- ویژگی‌های بافتی اسپاگتی‌های تهیه شده با سبوس جوی فراوری شده

درصد سبوس	درصد زانتان	اسپاگتی پخته		اسپاگتی خام	
		سفتی (گرم)	چسبندگی (گرم ثانیه)	قوام (گرم ثانیه)	سختی (گرم)
۰	۰	۲۱/۱۱±۰/۰۷ ^{BC}	۰/۴۶±۰/۱۰ ^{AB}	۷/۸۰±۰/۴۵ ^{BCD}	۳۶۳۴/۲۵±۷۲/۴۰ ^{ABCD}
	۱	۲۰/۳۹±۰/۸۲ ^{BCD}	۰/۴۹±۰/۰۷ ^{AB}	۷/۰۳±۰/۰۹ ^{BCDE}	۳۲۳۳/۸۶±۲۰/۱۱ ^{DE}
	۲	۱۶/۴۵±۰/۵۵ ^{CDE}	۰/۵۰±۰/۲۱ ^{AB}	۵/۵۳±۰/۳۷ ^{CDE}	۳۵۲۰/۸۰±۱۳۳/۴۸ ^{BCDE}
	۰	۱۵/۵۳±۱/۲۱ ^{DE}	۰/۹۵±۰/۰۴ ^{BC}	۵/۰۱±۰/۱۷ ^E	۳۵۴۷/۰۲±۱۴۴/۱۱ ^{BCDE}
۴۰	۱	۱۹/۹۷±۰/۱۳ ^{BCDE}	۰/۹۶±۰/۱۲ ^{BC}	۶/۸۵±۰/۵۵ ^{BCDE}	۳۷۶۳/۶۴±۳۶۵/۸۴ ^{ABC}
	۲	۲۲/۳۱±۳/۴۴ ^B	۱/۰۰±۰/۳۸ ^{BC}	۸/۲۸±۰/۸۳ ^B	۴۰۵۳/۴۵±۳۵/۹۰ ^A
	۰	۱۵/۱۱±۰/۱۶ ^E	۰/۹۰±۰/۱۸ ^{ABC}	۶/۰۶±۰/۰۳ ^{BCDE}	۳۰۸۸/۷۸±۲۰/۰۲ ^E
	۵۰	۲۲/۳۲±۲/۵۲ ^{AB}	۰/۸۱±۰/۴۵ ^{ABC}	۷/۷۲±۲/۶۰ ^{ABCD}	۳۷۹۶/۷۵±۲۰/۷۷ ^{ABC}
۵۰	۲	۲۹/۷۰±۳/۲۵ ^A	۰/۹۱±۰/۴۰ ^{BC}	۱۱/۲۳±۰/۹۹ ^A	۳۵۰۹/۶۴±۳۷/۵۶ ^{BCDE}
	۰	۱۶/۶۶±۱/۶۳ ^{CDE}	۱/۳۲±۰/۳۶ ^C	۵/۰۸±۰/۶۳ ^{DE}	۳۲۰۸/۷۶±۳۸/۷۹ ^{DE}
	۱	۲۳/۰۵±۱/۴۵ ^B	۰/۹۵±۰/۲۷ ^{BC}	۸/۱۸±۰/۶۴ ^{BC}	۳۹۴۳/۱۱±۱۳۷/۴۶ ^{AB}
	۶۰	۲۸/۵۶±۱/۰۷ ^A	۰/۹۵±۰/۵۱ ^{BC}	۱۲/۱۵±۰/۶۰ ^A	۳۴۹۹/۶۸±۱۰/۹۴ ^{BCDE}

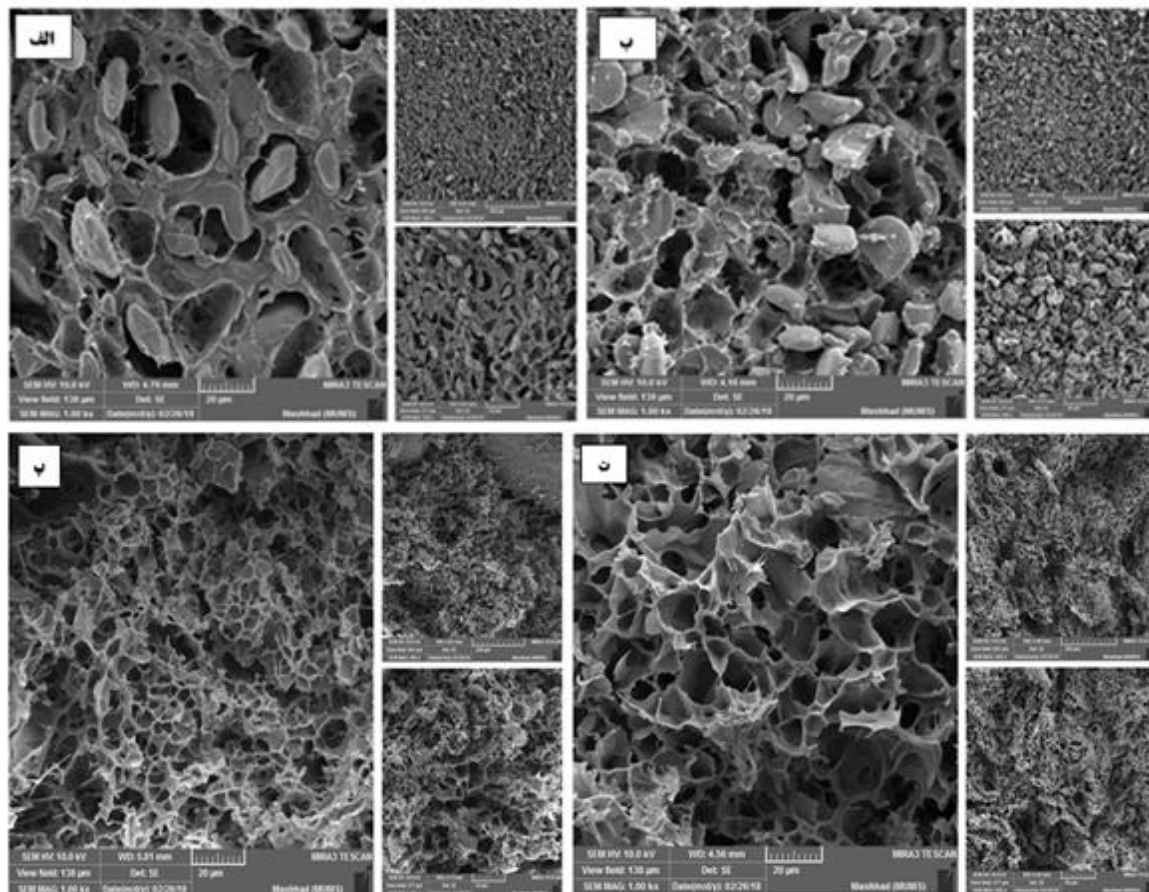
* اعداد±انحراف معیار

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار براساس آزمون توکی می‌باشد ($P < 0.05$).

ریزساختار

شکل (۶) تصاویر عرضی نمونه‌های اسپاگتی تهیه شده با سبوس جوی فراوری شده در مقایسه با آرد گندم را نشان می‌دهد. ماکارونی آرد گندم شبکه به هم پیوسته با بسته‌های نامنظم هوا را نشان می‌دهد (شکل ۶-الف). افزودن زانتان (شکل ۶-ب)، تعداد بسته‌های هوا و فضای خالی را کاهش داده که علت آن را می‌توان به جذب آب زانتان و تورم نشاسته حین پخت نسبت داد که با افزایش حجم و به دنبال آن پرشدن فضاهای خالی همراه است. همچنین مشاهده گرانول‌های دست نخورده نشاسته در این نمونه‌ها بیانگر رقابت بین نشاسته و زانتان طی پخت برای جذب آب می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر حضور صمغ زانتان و جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر سختی رشته‌های اسپاگتی خام معنی دار بود ($P < 0.05$). در نمونه‌های فاقد زانتان، افزایش جایگزینی سبوس جوی فراوری شده از ۴۰ به ۵۰ درصد با کاهش سختی رشته‌های اسپاگتی همراه بود درحالی که در ۶۰ درصد جایگزینی، مقدار سختی افزایش یافت اما هیچ یک از این تغییرات معنی دار نبود ($P > 0.05$). در نمونه‌های حاوی ۱ و ۲ درصد زانتان بیشترین سختی به ترتیب به جایگزینی ۵۰ و ۴۰ درصد سبوس جوی فراوری شده مربوط بود. نتایج حاکی از این مطلب بود که مقدار ۱ درصد زانتان تأثیر مثبت در استحکام رشته‌های اسپاگتی حاوی سبوس داشت.



شکل ۶- تصاویر عرضی میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌های اسپاگتی پخته تا زمان بهینه پخت: الف: نمونه حاوی آرد گندم (شاهد)، ب: نمونه حاوی آرد گندم و ۲ درصد زانتان، پ: نمونه حاوی ۵۰ درصد سبوس جوی فراوری شده و فاقد زانتان، ت: نمونه حاوی ۵۰ درصد سبوس جوی فراوری شده و ۲ درصد زانتان (در هر نمونه شکل سمت چپ: بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ میکرومتر، شکل سمت راست بالا: بزرگ‌نمایی ۲۰۰ میکرومتر و شکل سمت راست پایین: بزرگ‌نمایی ۵۰۰ میکرومتر)

ارزیابی حسی

جدول (۴) نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های اسپاگتی حاوی مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری شده و زانتان را نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که با جایگزینی سبوس جوی فراوری شده پذیرش رنگ اسپاگتی کاهش یافت. با افزودن زانتان پذیرش رنگ تقریباً در همه نمونه‌های فاقد و حاوی سبوس کاهش یافت.

در تصاویر مربوط به نمونه‌های حاوی سبوس جوی (شکل ۶-پ و ت) شبکه ساختاریافته^۱ و بسته‌های هوا با شکل و اندازه تقریباً یکنواخت شبیه کندوهای عسل مشاهده می‌شود. افزودن زانتان دیواره‌های بسته‌های هوا را متورم‌تر کرده و به بزرگ‌تر شدن بسته‌های هوا منتهی شد. گرانول‌های نشاسته کمتر و حالت فلس مانند و زبری در این ساختار مشهود بود. Kim و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشاهده کردند که افزودن ۲ درصد ضایعات کیمچی (حاوی ۶۲/۶۳ درصد فیبر) به آرد گندم در نودل تازه شبکه پروتئینی را بازیابی کرده و بسته‌های هوا با شکل و اندازه یکنواخت را تشکیل داد. اما با افزایش نسبت آن شبکه پروتئینی ضعیف و بسته‌های بزرگ هوا مشاهده شد.

¹ Organized network

جدول ۴- ارزیابی حسی اسپاگتی‌های تهیه‌شده با سیبوس جوی فراوری‌شده

پذیرش کلی	یکپارچگی	چسبندگی	صمغی شدن	توده‌ای شدن	قابلیت جویدن	فیبری شدن	سفتی	الاستیسیته	نشاسته‌ای شدن	عطر و طعم	رنگ	درصد زائتان	درصد سیبوس
۴/۳۰±۰/۷۰ ^A	۴/۳۰±۰/۵۰ ^A	۴/۱۰±۰/۹۰ ^A	۴/۲۰±۰/۶۰ ^A	۴/۲۰±۰/۷۰ ^A	۲/۴۰±۰/۸۰ ^A	۴/۵۰±۰/۷۰ ^A	۴/۶۰±۰/۷۰ ^A	۴/۶۰±۰/۵۰ ^A	۴/۴۰±۰/۵۰ ^A	۴/۲۰±۰/۶۰ ^A	۴/۳۰±۰/۶۰ ^A	۰	
۴/۱۰±۰/۷۰ ^A	۴/۱۰±۰/۷۰ ^{AB}	۳/۸۰±۰/۸۰ ^{AB}	۳/۸۰±۰/۸۰ ^{AB}	۳/۸۰±۰/۸۰ ^{AB}	۳/۹۰±۰/۷۰ ^{AB}	۴/۳۰±۰/۶۰ ^A	۴/۲۰±۰/۷۰ ^{AB}	۴/۱۰±۰/۵۰ ^{AB}	۴/۱۰±۰/۰۰ ^{AB}	۴/۲۰±۰/۰۰ ^{۷A}	۴/۳۰±۰/۵۰ ^A	۱	۰
۲/۶۰±۰/۸۰ ^{BCD}	۳/۰۰±۰/۷۰ ^{CD}	۲/۷۰±۰/۱۰ ^{BC}	۲/۹۰±۰/۷۰ ^{BC}	۲/۳۰±۰/۱۰ ^{CD}	۳/۵۰±۰/۸۰ ^{ABC}	۳/۵۰±۰/۸۰ ^{AB}	۳/۴۰±۰/۸۰ ^{BCD}	۳/۵۰±۰/۷۰ ^{BC}	۳/۵۰±۰/۹۰ ^{ABC}	۳/۳۰±۰/۶۰ ^{ABC}	۳/۳۰±۰/۰۰ ^{۵ABC}	۲	
۳/۳۰±۰/۷۰ ^{AB}	۳/۴۰±۰/۹۰ ^{ABC}	۳/۳۰±۰/۱۰ ^{ABC}	۳/۳۰±۰/۸۰ ^{ABC}	۳/۳۰±۰/۷۰ ^{ABC}	۳/۳۰±۰/۷۰ ^{ABCI}	۳/۱۰±۰/۸۰ ^{BC}	۳/۵۰±۰/۷۰ ^{ABC}	۳/۲۰±۰/۸۰ ^{BCD}	۳/۳۰±۰/۱۰ ^{ABCI}	۳/۹۰±۰/۵۰ ^{AB}	۳/۹۰±۰/۰۰ ^{۵AB}	۰	
۱/۷۰±۰/۸۰ ^D	۱/۸۰±۰/۹۰ ^E	۲/۲۰±۰/۹۰ ^C	۲/۶۰±۰/۲۰ ^C	۱/۹۰±۰/۰۰ ^D	۲/۱۰±۰/۰۰ ^E	۲/۵۰±۰/۰۰ ^{BC}	۲/۹۰±۰/۲۰ ^{CD}	۲/۰۰±۰/۰۰ ^E	۲/۲۰±۰/۸۰ ^D	۲/۶۰±۰/۲۰ ^{CD}	۲/۴۰±۰/۰۰ ^{۲CD}	۱	۴۰
۲/۷۰±۰/۹۰ ^{BCD}	۲/۴۰±۰/۷۰ ^{CDE}	۲/۴۰±۰/۱۰ ^C	۲/۸۰±۰/۶۰ ^{BC}	۲/۷۰±۰/۷۰ ^{BCD}	۲/۷۰±۰/۵۰ ^{CDE}	۲/۳۰±۰/۵۰ ^C	۲/۸۰±۰/۸۰ ^{CD}	۲/۲۰±۰/۷۰ ^{DE}	۲/۳۰±۰/۸۰ ^{CD}	۲/۶۰±۰/۸۰ ^{CD}	۲/۶۰±۰/۰۰ ^{۷CD}	۲	
۲/۳۰±۰/۹۰ ^{BCD}	۲/۸۰±۰/۸۰ ^{CDE}	۲/۵۰±۰/۱۰ ^{BC}	۲/۹۰±۰/۹۰ ^{BC}	۲/۸۰±۰/۹۰ ^{BCD}	۲/۶۰±۰/۷۰ ^{CDE}	۲/۳۰±۰/۹۰ ^C	۲/۹۰±۰/۹۰ ^{CD}	۲/۳۰±۰/۵۰ ^{DE}	۲/۲۰±۰/۴۰ ^D	۲/۲۰±۰/۶۰ ^{CD}	۲/۲۰±۰/۰۰ ^{۱D}	۰	
۲/۸۰±۰/۶۰ ^{BC}	۳/۲۰±۰/۷۰ ^{BCD}	۳/۳۰±۰/۱۰ ^{ABC}	۳/۴۰±۰/۸۰ ^{ABC}	۳/۳۰±۰/۱۰ ^{ABC}	۳/۴۰±۰/۷۰ ^{ABCI}	۲/۴۰±۰/۷۰ ^C	۳/۳۰±۰/۸۰ ^{BCD}	۲/۸۰±۰/۹۰ ^{CDE}	۲/۹۰±۰/۰۰ ^{BCD}	۲/۸۰±۰/۹۰ ^{BCD}	۲/۵۰±۰/۰۰ ^{۸CD}	۱	۵۰
۲/۲۰±۰/۸۰ ^{CD}	۲/۶۰±۰/۱۰ ^{CDE}	۲/۸۰±۰/۱۰ ^{BC}	۲/۸۰±۰/۹۰ ^{BC}	۲/۵۰±۰/۱۲ ^{CD}	۲/۷۰±۰/۱۲ ^{CDE}	۲/۲۰±۰/۸۰ ^C	۲/۷۰±۰/۰۰ ^{CD}	۲/۳۰±۰/۱۰ ^{DE}	۲/۳۰±۰/۹۰ ^{CD}	۲/۵۰±۰/۱۰ ^{CD}	۲/۳۰±۰/۰۰ ^{۱CD}	۲	
۲/۳۰±۰/۷۰ ^{BCD}	۲/۴۰±۰/۷۰ ^{CDE}	۲/۸۰±۰/۹۰ ^{BC}	۲/۷۰±۰/۷۰ ^{BC}	۲/۶۰±۰/۷۰ ^{CD}	۳/۳۰±۰/۰۰ ^{BCD}	۲/۵۰±۰/۱۰ ^{BC}	۲/۸۰±۰/۹۰ ^{CD}	۲/۱۰±۰/۷۰ ^E	۳/۰۰±۰/۹۰ ^{BCD}	۲/۴۰±۰/۸۰ ^{CD}	۳/۰۰±۰/۰۰ ^{۷BCD}	۰	
۲/۳۰±۰/۶۰ ^{CD}	۲/۲۰±۰/۷۰ ^{DE}	۲/۱۰±۰/۸۰ ^C	۲/۴۰±۰/۹۰ ^C	۲/۳۰±۰/۱۰ ^{CD}	۲/۴۰±۰/۹۰ ^{CDE}	۲/۳۰±۰/۹۰ ^C	۲/۳۰±۰/۹۰ ^D	۱/۸۰±۰/۶۰ ^E	۲/۳۰±۰/۱۰ ^D	۲/۰۰±۰/۶۰ ^D	۲/۳۰±۰/۰۰ ^{۸CD}	۱	۶۰
۲/۴۰±۰/۸۰ ^{BCD}	۲/۲۰±۰/۸۰ ^{DE}	۲/۳۰±۰/۸۰ ^C	۲/۶۰±۰/۷۰ ^C	۲/۴۰±۰/۵۰ ^{CD}	۲/۳۰±۰/۵۰ ^{DE}	۲/۱۰±۰/۷۰ ^C	۲/۴۰±۰/۹۰ ^{CD}	۲/۵۰±۰/۸۰ ^{CDE}	۲/۷۰±۰/۹۰ ^{CD}	۲/۷۰±۰/۹۰ ^{CD}	۲/۵۰±۰/۰۰ ^{۸CD}	۲	

اعداد با حروف مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی می‌باشد ($P < 0.05$).

زانتان در این نمونه به کاهش پذیرش کلی منجر شد. در نمونه‌های حاوی مقادیر بالاتر سبوس (۵۰ و ۶۰ درصد) پذیرش کلی پایین بود و افزودن زانتان با جلب نظر ارزیابان همراه نبود. نتایج Padalino و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی ویژگی‌های اسپاگتی بر پایه ذرت غنی‌شده با ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد آرد خمر حاکی از کاهش امتیاز پذیرش کلی همگام با افزایش مقدار آرد خمر بود. در حقیقت امتیاز الاستیسیته و یکنواختی با افزایش آرد خمر کاهش یافت. همچنین افزایش آرد خمر باعث افزایش شدت رنگ شد. این محققین اعلام کردند که اسپاگتی‌های غنی‌شده با ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد آرد خمر به دلیل الاستیسیته کم، طعم غیرقابل قبول، رنگ قهوه‌ای و بوی ناخوشایند زیر حد پذیرش بودند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده در مقادیر ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد و همچنین حضور صمغ زانتان در سه سطح صفر، ۱ و ۲ درصد بر ویژگی‌های اسپاگتی بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان خاکستر نمونه‌ها با افزایش مقدار سبوس و صمغ افزایش یافت. جذب آب و افت پخت نمونه‌های اسپاگتی با افزایش سبوس جوی فراوری‌شده به ترتیب کاهش و افزایش نشان داد درحالی‌که تغییرات افزودن صمغ زانتان در مقایسه با سبوس جو معنی‌دار نبود. ضعف شبکه گلوتنی در این نمونه‌ها کاهش زمان پخت به ۱۰ دقیقه را نیز به همراه داشت. همچنین جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با افزایش جزئی زردی، افزایش قابل توجه قرمزی و کاهش روشنایی رنگ اسپاگتی‌های پخته همراه بود. این روند در نمونه‌های اسپاگتی خام (به استثنای افزایش شاخص b^*) نیز مشاهده شد. حضور سبوس جوی فراوری‌شده با کاهش سفتی رشته‌های اسپاگتی پخته همراه بود اما افزایش درصد جایگزینی سبوس تأثیر معنی‌دار بر بافت نداشت. حضور صمغ زانتان بهبود جزئی سفتی را در رشته‌های اسپاگتی پخته حاوی سبوس جو به همراه داشت. نتایج ارزیابی حسی بیانگر پذیرش کلی کمتر نمونه‌های حاوی سبوس

به‌طور کلی نمونه‌های سبوس‌دار از پذیرش عطر و طعم کمتری نسبت به شاهد برخوردار بودند. همچنین نتایج ارزیابی حسی گویای عدم تأثیر معنی‌دار زانتان بر پذیرش عطر و طعم نمونه‌ها بود ($P > 0.05$).

حضور زانتان در نمونه شاهد به ایجاد حالت نشاسته‌ای و پذیرش کمتر از سبوس ارزیابان منجر شد که البته این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). به‌طور کلی نمونه‌های سبوس‌دار از امتیاز نشاسته‌شدن کمتری نسبت به شاهد برخوردار بودند. همچنین نتایج ارزیابی حسی گویای عدم تأثیر معنی‌دار زانتان بر حالت نشاسته‌ای نمونه‌ها بود ($P > 0.05$).

جایگزینی ۵۰ و ۶۰ درصد سبوس جوی فراوری‌شده در نمونه‌های اسپاگتی فاقد زانتان به‌طور معنی‌دار الاستیسیته و سفتی آنها را تضعیف کرد ($P < 0.05$). الاستیسیته و سفتی نمونه‌های فاقد و حاوی سبوس در حضور زانتان تغییر معنی‌دار نشان نداد ($P > 0.05$).

با جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده میزان فیبری شدن و قابلیت جویدن نمونه‌های اسپاگتی به‌طور معنی‌دار افزایش یافت که با کسب امتیاز کمتر از سوی ارزیابان همراه بود ($P < 0.05$) درحالی‌که حضور زانتان تأثیر معنی‌داری بر این پارامتر را نداشت ($P > 0.05$).

به‌طور کلی افزودن سبوس باعث کاهش امتیاز توده‌ای شدن، صمغی شدن، چسبندگی و یکپارچگی شد. مقدار آمیلوز بر چسبندگی تأثیر دارد. با کاهش محتوای آمیلوز اسپاگتی چسبندگی آن افزایش می‌یابد. در نمونه شاهد حضور ۲ درصد زانتان به کاهش معنی‌دار امتیاز این پارامترها منجر شد ($P < 0.05$)، درحالی‌که در نمونه‌های حاوی سبوس، حضور زانتان تأثیر معنی‌داری بر این پارامترها را به همراه نداشت ($P > 0.05$).

بیشترین پذیرش کلی به نمونه شاهد (بدون سبوس و زانتان) مربوط بود. افزودن زانتان به نمونه فاقد سبوس سبب کاهش امتیاز پذیرش کلی شد که در حضور ۲ درصد زانتان این کاهش معنی‌دار بود ($P < 0.05$). در بین نمونه‌های حاوی سبوس، بهترین پذیرش کلی به نمونه حاوی ۴۰ درصد سبوس و بدون زانتان مربوط بود. افزودن

جوی فراوری شده به دلیل کاهش امتیازهای رنگ، عطر و طعم، الاستیسیته، سفتی، توده‌ای شدن، صمغی شدن، چسبندگی و یکپارچگی بود. براساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت که بهترین نمونه از لحاظ کلیه خصوصیات مورد بررسی اسپاگتی با ۴۰ درصد جایگزینی سبوس جو و بدون زانتان بود. به نظر می‌رسد وجود ترکیبات زیر در ترکیبات سبوس جو به کیفیت نامناسب اسپاگتی‌ها به‌ویژه در درصدهای جایگزینی بیشتر منجر می‌شود. پیشنهاد می‌شود در تحقیقاتی آتی از فیبر جو به‌منظور بهبود کیفیت محصول استفاده شود.

منابع

- Aghakeshipour, Z., Azadnard-Demirchi, S., Peighambarpust, S. H., & Oladghaffari, A. (2015). some qualitative properties of functional macaroni with flaxseed powder. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*, 24(4), 559-567. (in Persian)
- AOAC. (2005a). Ash of Flour (Direct Method), Method 923.03. In: Official Methods of Analysis, 18th Edition, AOAC International Publisher, Gaithersburg.
- AOAC. (2005b). Solids (Total) and Moisture in Flour, Method 925.10. In: Official Methods of Analysis, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg.
- Aravind, N., Sissons, M. J., Fellows, C. M., Blazek, J., & Gilbert, E. P. (2012a). Effect of inulin soluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 132(2), 993-1002. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.085>
- Aravind, N., Sissons, M., & Fellows, C. M. (2012b). Effect of soluble fibre (guar gum and carboxymethylcellulose) addition on technological, sensory and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 131(3), 893-900. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.073>
- Bergman, C. (1994). Development of a high-temperature-dried soft wheat pasta supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Cooking quality, color, and sensory evaluation. *Cereal Chemistry*, 71(6), 523-527.
- Bustos, M., Pérez, G., & León, A. (2011a). Effect of four types of dietary fiber on the technological quality of pasta. *Food Science and Technology International*, 17(3), 213-221. doi:<https://doi.org/10.1177/1082013210382303>
- Bustos, M. C., Perez, G. T., & León, A. E. (2011b). Sensory and nutritional attributes of fibre-enriched pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1429-1434. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.02.002>
- de la Peña, E., & Manthey, F. A. (2014). Ingredient composition and pasta: water cooking ratio affect cooking properties of nontraditional spaghetti. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(10), 2323-2330. doi:<https://doi.org/10.1111/ijfs.12549>
- El Rabey, H. A., Al-Seen, M. N., & Amer, H. M. (2013). Efficiency of barley bran and oat bran in ameliorating blood lipid profile and the adverse histological changes in hypercholesterolemic male rats. *BioMed Research International*, 2013. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2013/263594>
- Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K., & Herald, T. (2008). Precooked bran-enriched wheat flour using extrusion: Dietary fiber profile and sensory characteristics. *Journal of Food Science*, 73(4), S173-S179. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00715.x>
- Garcia-Ochoa, F., Santos, V., Casas, J., & Gomez, E. (2000). Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, 18(7), 549-579. doi:[https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00050-1)

- Giacco, R., Vitale, M., & Riccardi, G. (2016). *Pasta: Role in Diet*. In: Caballero, B. Finglas, P. and Toldrá, F. (eds.) *The Encyclopedia of Food and Health* (Vol. 4, pp.242-245.); Oxford: Academic Press.
- Holopainen-Mantila, U. (2015). *Composition and structure of barley (Hordeum vulgare L.) grain in relation to end uses*. (Doctoral dissertation), Department of Biosciences, Faculty of Biological and Environmental Sciences, Plant Biology, VTT Technical Research Centre of Finland, University of Helsinki, Retrieved from <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/153489/S78.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Irie, K., Horigane, A. K., Naito, S., Motoi, H., & Yoshida, M. (2004). Moisture distribution and texture of various types of cooked spaghetti. *Cereal Chemistry*, 81(3), 350-355. doi:<https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.3.350>
- Keenan, J. M., Goulson, M., Shamliyan, T., Knutson, N., Kolberg, L., & Curry, L. (2007). The effects of concentrated barley β -glucan on blood lipids in a population of hypercholesterolaemic men and women. *British Journal of Nutrition*, 97(6), 1162-1168. doi:<https://doi.org/10.1017/S0007114507682968>
- Kim, B.-R., Kim, S., Bae, G.-S., Chang, M. B., & Moon, B. (2017). Quality characteristics of common wheat fresh noodle with insoluble dietary fiber from kimchi by-product. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 240-245. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.027>
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Schmidt, Š. (2009). Significance of emulsifiers and hydrocolloids in bakery industry. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), 46-61 .
- Mosharraf, L., Kadivar, M., & Shahedi, M. (2009). Effect of hydrothermally bran on physicochemical, rheological and microstructural characteristics of Sangak bread. *Journal of Cereal Science*, 49(3), 398-404. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.006>
- Musavi, S. Z., Mohammadzadeh Milani, J., & Ruzbeh Nasiraie, L. (2016). Quality features of piccolli pasta, which enriched with wheat bran. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*, 26(1), 1-11. (in Persian)
- Nasehi, B., Jooyandeh, H., & Nasehi, R. (2011). Quality attributes of soy-pasta during storage period. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(4), 307-312. doi:<https://doi.org/10.3923/pjn.2011.307.312>
- Nasehi, B., Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., & Mazaheri Tehrani, M. (2016). Textural characteristics of pasta enriched with full fat soy flour, an optimization study using response surface methodology. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 11(6), 719-728. (in Persian)
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Spinelli, S., Conte, A & Alessandro Del Nobile, M. (2015). Optimization and characterization of gluten-free spaghetti enriched with chickpea flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(2), 148-158. doi:<https://doi.org/10.3109/09637486.2014.959897>
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Spinelli, S., Contò, F., & Del Nobile, M. A. (2014). Chemical composition, sensory and cooking quality evaluation of durum wheat spaghetti enriched with pea flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(6), 1544-1556. doi:<https://doi.org/10.1111/ijfs.12453>
- Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., & Moyano, P. (2006). Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*, 39(10), 1092-1098. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.009>
- Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2000). *Handbook of Hydrocolloids*: CRC Press.
- Pins, J., & Kaur, H. (2006). A review of the effects of barley beta-glucan on cardiovascular and diabetic risk. *Cereal Foods World*, 51(1), 8-11. doi:<https://doi.org/10.1094/CFW-51-0008>
- Piwińska, M., Wyrwisz, J., Kurek, M., & Wierzbicka, A. (2015). Hydration and physical properties of vacuum-dried durum wheat semolina pasta with high-fiber oat powder. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 647-653. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.022>

- Srikaeo, K., Laothongsan, P., & Lerdluksamee, C. (2018). Effects of gums on physical properties, microstructure and starch digestibility of dried-natural fermented rice noodles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 517-523. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.121>
- Wang, L., Duan, W., Zhou, S., Qian, H., Zhang, H., & Qi, X. (2018). Effect of rice bran fibre on the quality of rice pasta. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 81-87. doi:<https://doi.org/10.1111/ijfs.13556>

Evaluation of Physicochemical, Textural and Cooking Characteristics of Enriched Spaghetti with Barley Bran and Xanthan Gum

Razieh Niazmand^{1*}, Sara Naji-Tabasi², Atena Modiri³, Moslem Jahani⁴

1- Associate Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

* Corresponding author (r.niazmand@rifst.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

3- Master Degree, Azad University, Quchan Branch, Quchan, Iran

4- Assistant Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

Abstract

Dietary fibers have beneficial physiological and metabolic effects and the enrichment of high-consumption products such as spaghetti with fibers can increase the health and reduce the risk of various diseases in the community. In this study, the effect of processed barley bran (at 40, 50 and 60% levels replacement), xanthan gum (at 1 and 2% levels) and their interactions on cooking properties (water absorption, cooking loss, optimum cooking time and swelling index), microstructural, texture and sensory of spaghetti were evaluated. With increasing barley bran content, the water absorption and cooking loss of spaghetti samples significantly decreased and increased, respectively ($P < 0.05$). The gluten network was weakened by adding fiber by adding fiber, which reduced the cooking time to 10 min. The red value (a index) increased and the brightness (L index) decreased with the increase in the amount of the bran. Increment of barley bran increased the hardness of spaghetti texture noticeably, while the presence of xanthan gum improved the textural properties. The electron microscopy images showed that by adding xanthan, the walls of the air bags become more swollen, and in the presence of the bran caused rough structure. Sensory evaluation results indicated lower total acceptance of bran containing samples. Although the sample containing 40% barley bran and no xanthan gum had the highest overall acceptance among the fiber enriched samples.

Keywords: Barely Bran, Dietary Fiber, Hydrocolloid, Spaghetti

قالب پیش‌نویس مقاله برای مجله پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی با

بکارگیری امکانات استایل (سبک) در نرم‌افزار ورد 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

* نویسنده مسئول (email@address.ac.ir)

چکیده (سبک عنوان چکیده)

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

واژه‌های کلیدی (سبک

عنوان واژه‌های کلیدی)

اختصاری

الفبا

پاراگراف

کلمات (سبک واژه‌های

کلیدی)

چکیده فارسی با قلم B Nazanin11 در قالب یک پاراگراف، پس از اسامی نویسندگان (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)

مقدمه (سبک عنوان سطح ۱)

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.

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.

این قالب جهت آماده‌سازی مقاله آماده شده است. کلیه تنظیمات مربوط به صفحه و فواصل از اطراف، در این قالب اعمال شده است. لطفاً یک کپی از این فایل را در قسمتی از رایانه ذخیره نموده و پس از آن با کپی و سپس چسباندن^۱ متن خود در این فایل، سبک^۲ 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

^۱ Paste

^۲ Style

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 Nazanin 10 و بصورت برجسته و متن مربوط به توضیح جدول‌ها و شکل‌ها با قلم B Nazanin 10 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.

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.

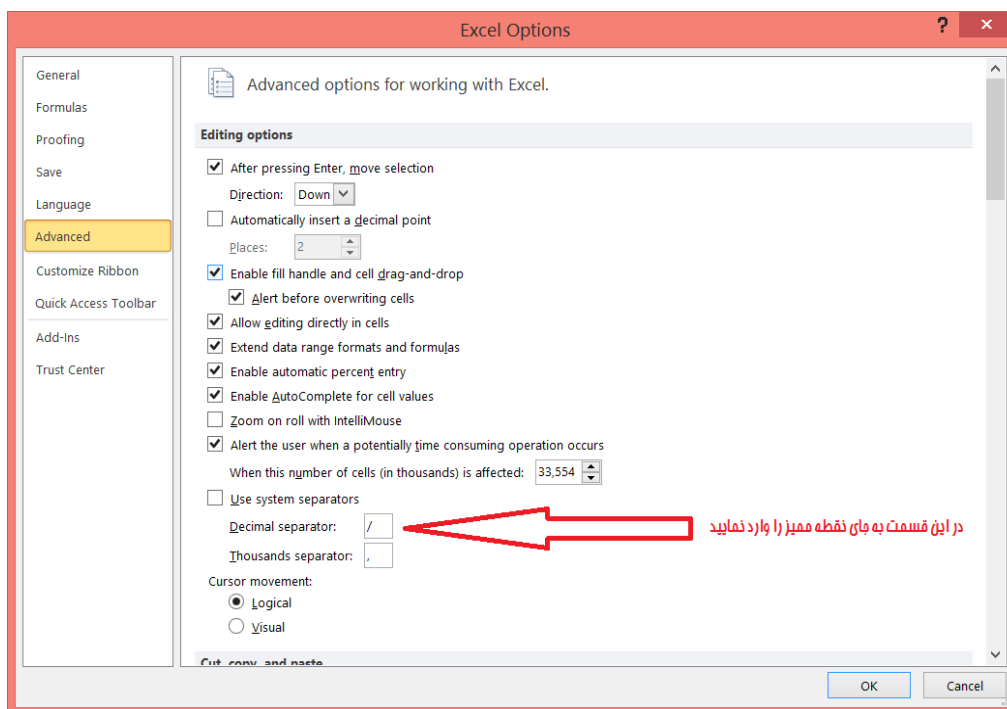
پاراگراف‌های دوم به بعد در هر عنوان با فرورفتگی به اندازه ۵ میلی‌متر از شروع سطر و بدون فاصله پس یا پیش از پاراگراف است. هنگام استفاده از علایمی نظیر ، : ، و غیره، به خاطر داشته باشید که کلیه این علائم بدون فاصله از حرف قبلی و با یک فاصله از حرف بعدی نوشته می‌شوند.

جهت مشخص نمودن احتمال، حرف P به صورت حرف بزرگ انگلیسی و مایل با قلم Times New Roman 10 درج گردد ($P < 0.05$). پرانتزها با قلم فارسی تایپ شوند.

* در صورتی که اصول بدیهی نگارش در مقاله رعایت نگردیده باشد، پیش از ارسال به داوری به

جدول ۱- برخی از اصول نگارش (سبک عنوان جدول) (<http://www.persianacademy.ir/fa/das.aspx>)

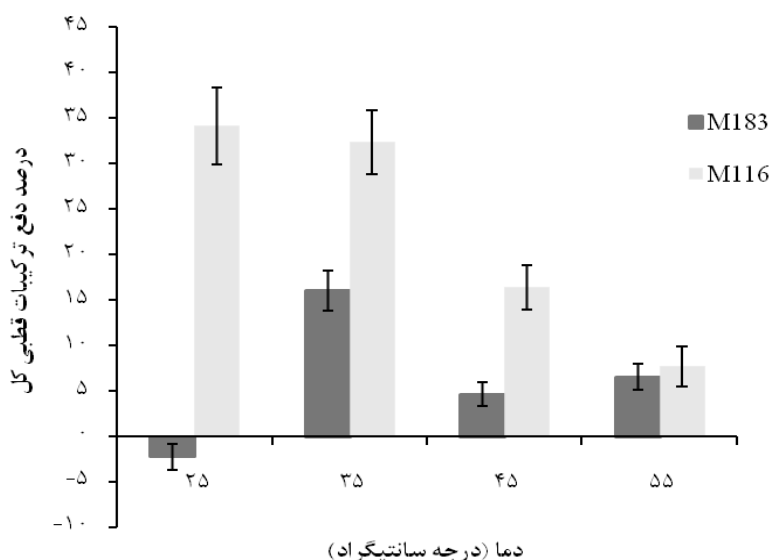
نکته نگارشی	راهنمای صفحه کلید
گذاشتن تشدید همیشه ضرورت ندارد مگر در جایی که موجب ابهام شود: معین/معین	ب+SHIFT
تنوین (أ)	ض+SHIFT=
آن همیشه جدا نوشته می شود مگر: آنها، آنجا، آنکه، بدان، آنچه، وانگهی	
این همیشه جدا نوشته می شود مگر: اینها، اینجا، اینکه، بدین	
-تر / -ترین	
به غیر از بیشتر/بیشترین، کمتر/کمترین، بهتر/بهترین، مهتر، مهترین، بقیه جدا نوشته می شوند.	
چه جدا از کلمه پیش از خود نوشته می شود، مگر در: چرا، چگونه، چقدر، چطور، چسان	
چه جدا از کلمه پس از خود نوشته می شود، مگر در: آنچه، چنانچه	
حرکت گذاری تنها در حدی لازم است که احتمال بدخوانی و ابهام داده شود: غرضه/غرضه؛ حرف/حرف	ی/س/ش+SHIFT
که همیشه جدا نوشته می شود به جز در سه مورد: بلکه، اینکه، آنکه	
می- نمی با رعایت نیم فاصله، همواره جدا نوشته می شوند.	نیم فاصله (-+Ctrl)
ها (نشانه جمع) با رعایت نیم فاصله جدا از کلمه پیش از خود نوشته می شود (به جز در مورد آنها)	
یک در ترکیب، جدا از جزء پس از خود نوشته می شود، مگر در موارد: یکتا، یکجا، یکدست، یکدفعه، یکدیگر، یکرنگ، یکرو، یکسان، یکسره، یکسو، یکشنبه، یکنواخت	
نقطه (.)، دونقطه (:)، ویرگول (،)، همواره به کلمه پیش از خود می چسبند ولی بعد از آنها درج یک فاصله الزامی است.	ک+SHIFT=: ف+SHIFT=،
تأمین، تأثیر و امثال این کلمات با حمزه ساکن در وسط کلمه (أ) نوشته می شوند.	د+SHIFT=أ
حمزه 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 می شود. مانند: آیین نه آئین، پاییز نه پائیز، پایین نه پائین، رویدن نه روئیدن و ...	
نشانه اضافه پس از کلمه های مختوم به های بیان حرکت (هـ) به صورتی یایی نیمه (ء) بالای (ها) نوشته می شود، مانند: محموله غذا	ل+SHIFT=هـ
(پرانتر ابتدا، به کلمه بعد و پرانتر انتها، به کلمه قبل از خود می چسبند) و به ترتیب از کلمه قبل و بعد از خود فاصله می گیرند.	
به املای برخی از کلمات رایج در مقالات حوزه صنعت غذا نظیر فرآوری، فرآیند/فرایند و ... توجه شود.	آ+SHIFT=آ



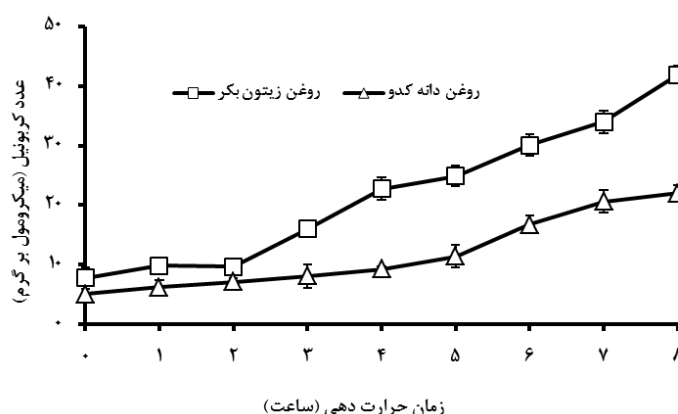
شکل ۱- نحوه درج ممیز فارسی به جای نقطه در نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ (سبک عنوان شکل)

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی مواد آلی مورد استفاده

خاکستر (درصد)	فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم)		pH	
	Pd	Cd		
۸۶/۸	۱/۲	۰/۸۸	۷/۴	لجن فاضلاب
۹/۴	۹/۴	۶۵۷/۸۳	۷/۰۸	کمپوست



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 روغن‌های زیتون بکر و دانه کدو طی فرایند حرارتی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد. تیرک‌های ترسیم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

روابط و فرمول‌های ریاضی (سبک عنوان سطح ۲ و ۳)

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 سطرها بعدی آورده می‌شود، باید از سطر دوم به بعد از سمت چپ فرورفتگی

روابط و فرمول‌های ریاضی (سبک عنوان سطح ۲ و ۳)

جهت تایپ روابط و فرمول‌های ریاضی از ابزار معادله^۱ موجود در نرم‌افزار آفیس با قلم کامبریا^۲ 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.

^۱ Insert -> Symbols -> Equation

^۲ Cambria Math

داشته باشد. کاربری و کلمه عبور وارد سایت شده و ارسال مقاله

۴- شماره هر فرمول در گوشه سمت راست فرمول درج می شود.

۵- دقت شود از نقطه ممیز یا همان نقطه پایان جمله $(a \cdot b)$ به جای نقطه ضرب $(a \cdot b)$ استفاده نشود. رابطه (۱)

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

فرم تعهد نویسندگان (سبک عنوان سطح ۱)

نویسندگان محترم می باید 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 فایل های دیگر در هنگام ارسال مقاله جدید بارگذاری نمایند.

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

منابع

منابع مورد استفاده باید شامل جدیدترین اطلاعات در زمینه کار مورد نظر باشند. استناد به منابع در متن مقاله به سبک APA 6th (APA System: Author – Date Scheme) با استفاده از نرم افزار EndNote انجام گیرد. کلیه منابع به صورت انگلیسی و در متن عیناً به آن اشاره شود و چنانچه منبعی به صورت **برگردان انگلیسی** ذکر شده است، در انتهای منبع حتماً واژه (in Persian) قید شود. برای کسب اطلاعات بیشتر می توانید از راهنمای رفرنس دهی نسخه 6th APA استفاده نمایید.

لینک راهنما: <https://guides.library.uq.edu.au/apa6th-print-version#s-lg-page-section-6553042>

منابع با قلم Time new Roman 10 و فاصله بعد از هر منبع ۸pt انتخاب شود. تورفتگی منابع به صورت Hanging و ۵/۰ لحاظ گردد.

تمام منابع در متن باید به صورت زیر درج شود:

۱- یک نویسنده: نام نویسنده و سال انتشار (Smith, 2003)؛

۲- دو نویسنده: نام هر دو نویسنده و سال انتشار (Smith & Jones, 2004)؛

۳- بیش از دو نویسنده:

برای اولین بار: (Hoges, Jensen, Olsen, & Forgan, 2013)

در ارجاعات بعدی: (Hoges et al., 2013)

منابع ممکن است به صورت مستقیم و یا اینکه داخل پرانتز قرار گیرند. منابع باید به ترتیب حروف الفبا و سال انتشار درج گردند. مثال:

برای اولین بار: (Allan, 1996a,b, 1999; Allan & Jones, 1995; Hoges, Jensen, Olsen, & Forgan, 2013)

در ارجاعات بعدی:

(Allan, 1996a,b, 1999; Allan & Jones, 1995; Hoges et al., 2013)

Kramer (۲۰۰۰): Kramer و Smith (۲۰۰۰): Hoges و همکاران (۲۰۱۳)

مثال

استانداردها

Takemori, T., Tsurumi, T., Takagi, M., & Ito, M. (1993). *U.S. Patent No. 5,232,734*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2008). *Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds -Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0.95*. (ISIRI Standard No. 10899.1). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=12277> (in Persian)

پایان نامه ها

Pourashouri, p. (2012). *Evaluation of the physicochemical and oxidative stability of microcapsules containing oil fish and omega-3*. (Unpublished doctoral dissertation), Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources (in Persian)

Alinasabhematabadi, L. (2015). *Protein oxidation in Atlantic mackerel (Scomber scombrus) during chilled and frozen storage*. (master's thesis), NTNU, Retrieved from https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2351628/8731_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Holopainen-Mantila, U. (2015). *Composition and structure of barley (Hordeum vulgare L.) grain in relation to end uses*. (Doctoral dissertation), Department of Biosciences, Faculty of Biological and Environmental Sciences, Plant Biology, VTT Technical Research Centre of Finland, University of Helsinki, Retrieved from <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/153489/S78.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

مجله علمی

Eisa zadeh, H., & Khademian, M. (2006). Preparation of Polypyrrole and Its Composites in Various Solutions Using Different Additives and Studying the orphology and Conductivity of the Prepared Film. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 19(2), 131-136. (in Persian) doi:<https://doi.org/10.22063/JIPST.2006.837>

Osman, M. (2010). Controlling uncertainty: A review of human behavior in complex dynamic environments. *Psychological Bulletin*, 136(1), 65-86. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/a0017815>

Wolchik, S. A., West, S. G., Sandler, I. N., Tein, J., Coatsworth, D., Lengua, L., . . . Griffin, W. A. (2000). An experimental evaluation of theory-based mother and mother-child programs for children of divorce. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 68, 843-856. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/0022-006X.68.5.843>

کتاب

Glaszious, P., Irwig, L., Bain, C., & Colditz, G. (2001). *Systematic reviews in health care: A practical guide*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Fatemi, H. (2016). *Food Chemistry*: Enteshar Publication Company. (in Persian)

Doust, J. (2010). Evidence about diagnosis. In T. Hoffman, S. Bennett, & C. Del Mar (Eds.), *Evidence-based practice: Across the health professions* (pp. 128-144). Chatswoord, NSW: Elsevier Australia

همایش ها و کنفرانس ها

Sanaeifar, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Siadat, M. (2014, Nov). *Application of an electronic nose system coupled with artificial neural network for classification of banana samples during shelf-life process*. Paper presented at the 2014 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT).

Ghorbani Hassan Sariei, A., Shahidi, F., Bahadorghousi, H., & Motamedzadegan, A. (2012, October). *Potentials of different omega-3 fatty acids in food enrichments*. Paper presented at the 2nd Food Security Conference, Islamic Azad University, Savadkuh Branch. (in Persian) https://www.civilica.com/Paper-FSS02-FSS02_320.html

**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 Author¹, 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.

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 - قوچان، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

صندوق پستی: ۹۱۸۹۵/۱۵۷/۳۵۶، کدپستی: ۹۱۸۵۱-۷۶۹۳۳ نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

نام و نام خانوادگی:

نشانی:

.....

تلفن:

مایل به اشتراک مجله از تاریخ / / می باشم.

بهای اشتراک سالیانه ۱۰۰۰۰۰۰ ریال

(بهای اشتراک سالیانه برای دانشجویان شامل ۵۰ درصد تخفیف، معادل ۵۰۰۰۰۰ ریال می باشد.)

حق اشتراک بایستی به حساب درآمدهای اختصاصی پژوهشکده علوم و صنایع غذایی با مشخصات مشروحه

ذیل بابت حق اشتراک نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی واریز و فیش آن همراه با فرم و کپی کارت

دانشجویی (در صورت استفاده از تخفیف دانشجویی) ارسال گردد.

شماره حساب تمرکز: ۹۸۲۹-۳۰۱-۵۴۰-۱۰۲-۴۰۰

شناسه واریز (حتماً قید شود): ۲۰۳-۰۰۰۰-۰۰۰۰-۰۰۰۰-۳۵۵۷-۶۰۱۱-۰۲۵۴-۳۳۸

شبا حساب: ۲۹-۱۹۸-۵۴۰۳-۱۰۲-۰۴۰-۰۱۰۰-۴۱ IR

امضاء:

تاریخ:

هیأت داوران مقالات این شماره:

دکتر اکرم آریان‌فر	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد قوچان
دکتر الهام انصاری‌فر	گروه بهداشت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بیرجند
دکتر سیدامیر اولیائی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر هما بقایی	گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد دامغان
دکتر شهرام بیرقی طوسی	گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر عادل بیگ‌بابایی	گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر مسلم جهانی	گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر مصطفی شهیدی نوقابی	گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر هدی شهیری	دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر بهاره عمادزاده	گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر میلاد فتحی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
مهندس سمیرا فیضی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر بهروز قرآنی	گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر مهدی قیافه‌داوودی	بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
دکتر جعفر محمدزاده میلانی	گروه صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر سید محمود موسوی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر الناز میلانی	گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر سارا ناجی طبسی	گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر بهزاد ناصحی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر عبدالله همتیان سورکی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه جهرم

Contents

The Effect of Xanthan, Guar and Transglutaminase on the Physicochemical and Textural Properties of Gluten-free Doughnut	1
Arezo Fazeli, Mostafa Mazaheri Tehrani, Mahdi Karimi, Alireza Sadeghian, Arash Koochaki	
The Effect of Chestnut (<i>Quercus Brantii</i>) Flour Substitution on the Physicochemical and Sensory Properties of Burgers	15
Vahideh Salarkarimi, Mohammad Javad Varidi, Mehdi Varidi	
The Production and Evaluation of Nanoliposomes Containing Bioactive Peptides Derived from Fish Wastes Using the Alkalase Enzyme	31
Shirin Hasani, Mostafa Shahidi Noghabi, Seyed Mehdi Ojagh	
The Optimization of Hydrolyzed Protein Production with High Anti-Oxidation Ability from Sesame Meal by Response Surface Methodology	45
Azra Mousavi Nasab, Alireza Sadeghi Mahoonak, Mohammad Ghorbani, Mehran Alami, Nasim Meshginfar	
Integrated Encapsulation of Fish Oil and Vitamin E with Complex Coaservation Technique and its Efficiency Optimization by Response Surface Method (RSM)	53
Fateme Mirzaei, Seyed Ali Jafarpour	
Studying Transmembrane Pressure, pH and Anionic Surfactant (SDS) Concentration Effects on MEUF Process Performance in Dairy Waste Water Treatment Using Response Surface Methodology Design	67
Ali Arasteh Nodeh, Susan Khosroyar, Vahid Hakimzadeh	
Preparing of Bacterial Cellulose/Polypyrrole-Zinc Oxide Nanocomposite Film and Studying its Physicomechanical, Antimicrobial and Antioxidant Properties	79
Sajad Pirsai, Tohid Shamusai, Ehsan Moghaddas Kia	
Evaluation of Physicochemical, Textural and Cooking Characteristics of Enriched Spaghetti with Barley Bran and Xanthan Gum	91
Razieh Niazmand, Sara Naji-Tabasi, Atena Modiri, Moslem Jahani	

Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology

License No. 92.20519

Vol. 8, No. 1, 2019

Published by: Research Institute of Food Science and Technology

Executive Manager: R. Kadkhodaei 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 Thailand
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. Kadkhodaei	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 8, Number 1, 2019

ISSN: 2252-0937 (Print), 2538-2357 (Online)

Contents

- The Effect of Xanthan, Guar and Transglutaminase on the Physicochemical and Textural Properties of Gluten-free Doughnut** 1
Arezo Fazeli, Mostafa Mazaheri Tehrani, Mahdi Karimi, Alireza Sadeghian, Arash Koochaki
- The Effect of Chestnut (*Quercus Brantii*) Flour Substitution on the Physicochemical and Sensory Properties of Burgers** 15
Vahideh Salarkarimi, Mohammad Javad Varidi, Mehdi Varidi
- The Production and Evaluation of Nanoliposomes Containing Bioactive Peptides Derived from Fish Wastes Using the Alkalase Enzyme** 31
Shirin Hasani, Mostafa Shahidi Noghabi, Seyed Mehdi Ojagh
- The Optimization of Hydrolyzed Protein Production with High Anti-Oxidation Ability from Sesame Meal by Response Surface Methodology** 45
Azra Mousavi Nasab, Alireza Sadeghi Mahoonak, Mohammad Ghorbani, Mehran Alami, Nasim Meshginfar
- Integrated Encapsulation of Fish Oil and Vitamin E with Complex Coaservation Technique and its Efficiency Optimization by Response Surface Method (RSM)** 53
Fatemeh Mirzaei, Seyed Ali Jafarpour
- Studying Transmembrane Pressure, pH and Anionic Surfactant (SDS) Concentration Effects on MEUF Process Performance in Dairy Waste Water Treatment Using Response Surface Methodology Design** 67
Ali Arasteh Nodeh, Susan Khosroyar, Vahid Hakimzadeh
- Preparing of Bacterial Cellulose/Polypyrrole-Zinc Oxide Nanocomposite Film and Studying its Physicomechanical, Antimicrobial and Antioxidant Properties** 79
Sajad Pirsā, Tohid Shamusī, Ehsan Moghaddas Kia
- Evaluation of Physicochemical, Textural and Cooking Characteristics of Enriched Spaghetti with Barley Bran and Xanthan Gum** 91
Razieh Niazmand, Sara Naji-Tabasi, Atena Modiri, Moslem Jahani