مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

نشریه علمی پژوهشی

پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

شاپا: ۰۹۳۷-۲۲۵۲

جلد ۷، شماره ۳، سال ۱۳۹۷

فهرست مطالب

بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی عصارهٔ ریزپوشانی‌شدهٔ پوست انگور قرمز سردشت و بررسی پایداری آن در ماست ۲۴۱

سارا متینی، سیدعلی مرتضوی، علیرضا صادقیان، اکرم شریفی

عوامل مؤثر بر تولید و پایداری فرمولاسیون بهینهٔ نانوامولسیون حاوی ترکیب ویتامین A و D به روش تشکیل خودبه‌خودی ۲۵۵

اکرم پزشکی نجف‌آبادی، فاطمه‌السادات هاشمی، افرا مرندی، خدیجه قره‌داغی، سیدحسین جلالی

اثر آنزیم، زمان و دما بر برخی ویژگی‌های پروتئین هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا کپور علف‌خوار ۲۶۹

آتنا رفعتی نیا، لاله رومیانی

بررسی ویژگی‌های جریان‌پذیری پودر عصارهٔ سماق ریزپوشانی‌شده و خشک‌شده به روش پاششی و اثر شرایط مختلف نگهداری آن بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۲۸۱

نسرین ملکی‌زاده، سیدهادی پیغمبردوست، عارف اولادغفاری، خشایار سرابندی

بهینه‌یابی ویژگی‌های دونات غنی‌شده با پودر پالپ پرتقال ۲۹۷

عاطفه یوسفی، بهزاد ناصحی، حسن برزگر

بهینه‌سازی اثرات غلظت نشاستهٔ گرمانرم و گلیسرول بر خواص فیزیکومکانیکی آمیزهٔ نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید به روش سطح پاسخ ۳۰۹

محمدرضا عبدالهی‌مقدم، سیدمحمدعلی رضوی، یوسف جهانی

تأثیر افزودن آرد و نشاستهٔ سیب‌زمینی بر ویژگی‌های کیفی و بیاتی کیک اسفنجی ۳۲۳

سیددانیال مجربی، جعفر محمدزاده میلانی

بررسی خصوصیات کیفی و زنده‌مانی باکتری‌های لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس و باسیلوس کواگولانس در نان پروبیوتیک..... ۳۳۷

مرضیه حسینی‌نژاد، عباس عابدفر

نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

شماره پروانه: ۹۲/۲۰۵۱۹ **جلد ۷، شماره ۳، سال ۱۳۹۷**

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

ناشر: مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

شمارگان:

قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال (دانشجویان ۱۲۵۰۰۰ ریال)

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

تلفن: ۹-۳۵۴۲۵۳۲۸ – ۰۵۱

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

آدرس الکترونیکی: jrifst@rifst.ac.ir

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

عنوان مقالات **صفحه**

بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی عصارهٔ ریزپوشانی‌شدهٔ پوست انگور قرمز سردشت و بررسی پایداری آن در ماست ۲۴۱

سارا متینی، سیدعلی مرتضوی، علیرضا صادقیان، اکرم شریفی

عوامل مؤثر بر تولید و پایداری فرمولاسیون بهینهٔ نانوامولسیون حاوی ترکیب ویتامین A و D به روش تشکیل خودبه‌خودی ۲۵۵

اکرم پزشکی نجف‌آبادی، فاطمه‌السادات هاشمی، افرا مرندی، خدیجه قره‌داغی، سیدحسین جلالی

اثر آنزیم، زمان و دما بر برخی ویژگی‌های پروتئین هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا کپور علف‌خوار ۲۶۹

آتنا رفعتی نیا، لاله رومیانی

بررسی ویژگی‌های جریان‌پذیری پودر عصارهٔ سماق ریزپوشانی‌شده و خشک‌شده به روش پاششی و اثر شرایط مختلف نگهداری آن بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۲۸۱

نسرین ملکی‌زاده، سیدهادی پیغمبردوست، عارف اولادغفاری، خشایار سرابندی

بهینه‌یابی ویژگی‌های دونات غنی‌شده با پودر پالپ پرتقال ۲۹۷

عاطفه یوسفی، بهزاد ناصحی، حسن برزگر

بهینه‌سازی اثرات غلظت نشاستهٔ گرمانرم و گلیسرول بر خواص فیزیکومکانیکی آمیزهٔ نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید به روش سطح پاسخ ۳۰۹

محمدرضا عبدالهی‌مقدم، سیدمحمدعلی رضوی، یوسف جهانی

تأثیر افزودن آرد و نشاستهٔ سیب‌زمینی بر ویژگی‌های کیفی و بیاتی کیک اسفنجی ۳۲۳

سیددانیال مجربی، جعفر محمدزاده میلانی

بررسی خصوصیات کیفی و زنده‌مانی باکتری‌های لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس و باسیلوس کواگولانس در نان پروبیوتیک..... ۳۳۷

مرضیه حسینی‌نژاد، عباس عابدفر

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۲۵۴-۲۴۱

JRIFST

بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی عصارۀ ریزپوشانی‌شدۀ پوست انگور قرمز سردشت و بررسی پایداری آن در ماست

سارا متینی[۱]، سیدعلی مرتضوی[۲*]، علیرضا صادقیان[۳]، اکرم شریفی[۴]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، سبزوار، ایران
۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسندۀ مسئول (morteza1937@yahoo.com)
۳- استادیار، گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۴- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱

واژه‌های کلیدی
انگور قرمز سردشت
ریزپوشانی
صمغ عربی
کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا
مالتودکسترین

چکیده

پوست انگور قرمز سردشت سالیانه به مقدار زیاد در کارخانجات آبمیوه‌گیری به‌دست می‌آید و منبع غنی از ترکیبات زیست‌فعال است. در این تحقیق بعد از تهیۀ عصاره با حلال اتانول اسیدی از پوست انگور قرمز سردشت، اجزاء ترکیبات زیست‌فعال توسط کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا تعیین شد. نتایج نشان داد به‌ترتیب بیشترین مقدار ترکیبات فنلی مربوط به گالیک اسید، کاتکین، سالسیلیک اسید و وانیلیک اسید بود. از آنتوسیانین‌های موجود در عصاره نیز پتونیدین-۳-او-گلوکوپیرانوزید و پئونیدین-۳-او-گلوکوزید کلرید بیشترین مقدار را نشان دادند. جهت ریزپوشانی عصارۀ حاصل از پوست انگور قرمز از دیواره‌های مالتودکسترین و صمغ عربی به‌ترتیب با نسبت‌های ۵۰-۵۰ و ۷۵-۲۵ وزنی/وزنی و با نسبت ۱ به ۴ هسته به دیواره استفاده شد. درنهایت میزان رطوبت، فعالیت آبی، حلالیت، میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای حاصل تعیین شد. باتوجه‌به نتایج، پودر حاصل از ریزپوشانی نمونه با دیوارۀ مالتودکسترین و صمغ عربی (۵۰-۵۰) با بیشترین میزان ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی انتخاب و برای استفاده در ماست به میزان (۰/۳ تا ۰/۶ درصد/وزنی) به همراه اسیدتانیک (۱ درصد/وزنی) درنظرگرفته شد. ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان آنتوسیانین نمونه‌های ماست طی ۲۱ روز نگهداری بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد بیشترین میزان آنتوسیانین و ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونۀ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی با اسیدتانیک بود. افزایش قابل‌توجه در ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ماست حاوی پودر ریزپوشانی در مقایسه با ماست شاهد مشاهده شد. نتایج نشان داد از پودر و عصارۀ پوست انگور قرمز سردشت می‌توان به‌عنوان جزء فراسودمند برای تولید مواد غذایی بهره جست.

مقدمه

براساس آمارهای موجود تاکنون در حدود ۱۶۰۰۰ رقم و چندین گونۀ مختلف انگور در سرتاسر دنیا شناسایی، نام‌گذاری و ارزیابی شده‌اند. ایران به‌عنوان

یکی از مراکز پیدایش و پراکنش انگور در جهان از تنوع ژنتیکی بالایی برخوردار است. به‌طوری‌که در مناطق مختلف، از شمال تا جنوب و از شرق تا غرب، ارقام مختلف انگور وجود دارند (کرمی، ۱۳۷۴).

تفالهٔ انگور یک پسماند لیگنوسلولزی و باقیماندهٔ فرایند آب‌گیری از میوهٔ انگور است. تفالهٔ انگور حدود ۲۰ درصد وزن مرطوب میوهٔ اولیه را تشکیل می‌دهد به‌طور معمول این پسماند در زمین مدفون می‌شود؛ اما این روش علاوه‌بر هزینه‌بربودن باعث مشکلات زیست‌محیطی نیز می‌گردد. ازطرفی به‌دلیل میزان پروتئین و هضم‌پذیری پایین، کاربرد مستقیم تفاله به‌عنوان خوراک دام چندان مناسب نیست. بنابراین در دهه‌های اخیر توجه محققان به بازیافت محصولات مفید از تفالهٔ انگور و بهبود کیفیت آن برای خوراک دام جلب شده است (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳).

ترکیب شیمیایی تفالهٔ انگور به‌طور قابل‌توجهی نسبت به نوع انگور و نوع فرایند آب‌گیری (پرس داغ یا سرد) متغیر است؛ اما به‌طورکلی تفالهٔ انگور حاوی مقادیر نسبتاً زیادی قند (عمدتاً، گلوکز، فروکتوز و ساکارز)، تارتارات، آنتوسیانین و فیبرخام است که می‌توان آنها را بازیابی و مورد استفاده قرار داد. تفالهٔ انگور ازنظر میزان تارتارات غنی است. پس از تخمیر الکلی تفاله، تارتارات موجود در پسماند را می‌توان با آب داغ استخراج کرد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳). تفالهٔ انگور قرمز منبع خوبی از آنتوسیانین‌هاست. آنتوسیانین‌ها رنگ‌دانه‌های طبیعی موجود در میوه‌ها و سبزی‌ها هستند. این رنگ‌دانه‌ها در محدودهٔ pH بین ۱ تا ۳ رنگ قرمز از خود نشان داده و می‌توانند در بعضی مواد غذایی با اسیدیتهٔ بالا مورد استفاده قرار گیرند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳). ازطرف‌دیگر هستهٔ انگور منبع باارزشی برای تهیهٔ روغن جهت مصارف خوراکی و صنعتی است. حدود ۲۶-۲۳ درصد از تفالهٔ انگور را هسته‌های آن تشکیل می‌دهد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳). تفالهٔ انگور حاوی پلی‌فنل‌ها (عمدتاً آنتوسیانین‌ها[1]، فلاونول‌ها[2]، فلاوانول‌ها[3]، اسیدهای فنلی[4] و رزوراترول[5]) و اسیدسیتریک می‌باشد (Pourali *et al*., 2014).

بعد از بهینه‌سازی شرایط استخراج ترکیبات زیست‌فعال موجود در پوست انگور قرمز[6] سردشت می‌توان از فرایند ریزپوشانی برای پایداری این ترکیبات استفاده نمود. ریزپوشانی فرایندی است که در آن ذرات ریز و قطره‌های یک ماده به‌وسیلهٔ مواد مختلف پوشانده می‌شوند تا خصوصیات مفیدی بتوان از آن به‌دست آورد. محققان زیادی به ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال موجود در عصاره‌های مختلف گیاهی پرداخته‌اند.

Renata و Brabet (۲۰۱۰) عصارهٔ میوهٔ گرمسیری آکائی[7] را با انواع پوشش‌دهنده‌ها ازجمله نشاستهٔ تاپیوکا، صمغ عربی و مالتودکسترین با استفاده از خشک‌کن پاششی به پودر تبدیل کردند. نتایج این تحقیق نشان داد مالتودکسترین بهترین پوشش‌دهنده ازنظر حفاظت از آنتوسیانین‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر تولیدی بود. Tonon و همکاران (۲۰۰۸) ترکیبات فنلی میوهٔ تمشک شمالی[8] را با مواد دیوارهٔ مختلف ریزپوشانی نمودند. بهترین نتایج با استفاده از مالتودکسترین به‌دست آمد. Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) آنتوسیانین میوهٔ زرشک را توسط خشک‌کن پاششی ریزپوشانی کردند. در این مطالعه دیواره‌هایی با نسبت مساوی مالتودکسترین و صمغ عربی بهترین خصوصیات فیزیکی و مورفولوژیکی پودر تولیدی را دربرداشت. Ersus و Yurdagel (۲۰۰۶) روی ریزپوشانی آنتوسیانین استخراج‌شده از هویج سیاه[9] به‌وسیلهٔ خشک‌کن پاششی و با دیوارهٔ مالتودکسترین به‌عنوان پوشش‌دهنده کار کردند. نتایج نشان داد با افزایش دمای خروجی و ورودی میزان آنتوسیانین کاهش یافت. دمای بهینهٔ خشک‌کردن ۱۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد با کمترین تخریب آنتوسیانین‌ها تشخیص داده شد. Akhavan Mahdavi و همکاران (۲۰۱۶a) از روش سطح پاسخ برای بهینه‌کردن راندمان ریزپوشانی و خواص فیزیکی پودرهای ریزپوشانی‌شده از نسبت‌های مختلف هسته بهره جستند. آنها از ۳ دیوارهٔ

[1] Aanthocyanins
[2] Flavonols
[3] Flavenoles
[4] Phenolic Acids
[5] Resveratrol
[6] *Vitis Viniferae cv. Rash*
[7] Acai
[8] Cloudberry
[9] Black Carrot

صمغ عربی، مالتودکسترین و ژلاتین برای ریزپوشانی زرشک به‌وسیلهٔ خشک‌کن پاششی استفاده کردند که درنتیجه بالاترین راندمان ریزپوشانی و بهترین کیفیت پودر به ترکیبی از دیواره‌های مالتودکسترین و صمغ عربی اختصاص داده شد. بعد از ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال از منابع گیاهی از این ترکیبات به‌عنوان جزئی از فرمولاسیون مواد غذایی می‌توان استفاده کرد. فرمولاسیون و تولید مواد غذایی که حاوی ترکیبات زیست‌فعال هستند و علاوه‌بر ارزش تغذیه‌ای، دارای اثراتی مثبت روی سلامت انسان می‌باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دراین‌زمینه نیز پژوهش‌هایی به ثبت رسیده است.

افزودن عصارهٔ میوهٔ گرمسیری اولراسئا[1] به‌عنوان رنگدانهٔ فراسودمند در ماست توسط Coisson و همکاران (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت. رنگ اولراسئا ارغوانی تیره و سرشار از آنتوسیانین و ترکیبات فنلی می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که ماست غنی‌شده با این عصاره از سطح بالایی از ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برخوردار بود. Gris و همکاران (۲۰۰۷)، کوپیگمانتاسیون[2] آنتوسیانین‌های انگور خاکستری[3] را در سیستم مدل و ماست و همچنین تأثیر کوپیگمانتاسیون در ثبات و افزایش رنگدانه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد اسیدکافئیک به‌طور قابل توجهی ثبات آنتوسیانین‌ها را در هر دو سیستم ماست و مدل افزایش داد.

Karaaslan و همکاران (۲۰۱۱)، غنی‌سازی ماست با ترکیبات فنلی را با استفاده از عصارهٔ انگور مورد بررسی قرار دادند. ماست‌های مخلوط‌شده با عصاره‌های انگور قرمز قدرت آنتی‌اکسیدانی بالاتری در مقایسه با نمونهٔ شاهد نشان دادند.

Akhavan Mahdavi و همکاران (۲۰۱۶b) رنگدانه‌های درون‌پوشانی‌شدهٔ زرشک را در پودر ژله به‌عنوان جایگزین رنگ مصنوعی استفاده کردند که ژلهٔ حاوی ۷ درصد پودر ریزپوشانی‌شده، نمرهٔ بالاتری ازنظر حسی نسبت به ژل تجاری حاوی رنگ مصنوعی دریافت کرد همچنین سینرزیس و حلالیت نمونه‌های ریزپوشانی‌شده نسبت به شاهد به‌طور قابل توجهی کاهش یافت.

در این تحقیق بعد از تهیهٔ عصاره از پوست انگور قرمز سردشت، اجزاء ترکیبات زیست‌فعال شناسایی شدند و بعد از ریزپوشانی و تولید پودر به کمک خشک‌کن پاششی، پتانسیل کاربرد و ماندگاری پودر ریزپوشانی‌شدهٔ تولیدی در ماست بررسی شد.

مواد و روش‌ها

پوست انگور قرمز سردشت از ضایعات کارخانه آب‌گیری پاکدیس ارومیه تهیه شد. سپس توسط آون تحت خلأ (۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد، بهداد، ساخت ایران) خشک و توسط خردکن برقی (مولینکس، ساخت آلمان) به‌دقت خرد شد و برای یکنواخت‌کردن اندازهٔ ذرات، با الک مش ۳۵ الک گردید. پودر به‌دست‌آمده تا پایان آزمایش‌ها در ظروف شیشه‌ای تیره و در دمای فریزر (۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد) نگهداری شد. سایر مواد شیمیایی موردنیاز با درجهٔ خلوص تجزیه‌ای از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

تهیهٔ عصاره با استفاده از امواج فراصوت

پودر پوست انگور از فریزر خارج شد و با حلال آب به نسبت ۱ به ۸ با هم مخلوط شدند و درون دستگاه حمام اولتراسونیک[4] (مدل Up200 h، technology، ساخت آلمان) در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه و در معرض طول موج ثابت ۳۵ کیلوهرتز قرار گرفتند. شرایط بهینهٔ استخراج از مطالعه‌های پیشین درنظرگرفته شد. سپس عصارهٔ استخراج‌شده با استفاده از کاغذ صافی واتمن شمارهٔ ۵ و پمپ خلأ از مواد جامد گیاهی جدا گردید (Rajaei *et al*., 2010).

اندازه‌گیری مقدار کل ترکیبات فنلی عصارهٔ استخراج‌شده

مقدار کل ترکیبات فنلی عصارهٔ تولیدی به روش فولین سیوکالتو شرح داده شده توسط Naczk و Shahidi (۲۰۰۴) تعیین شد. مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره با ۲/۵

[1] Oleracea
[2] Copigmentation
[3] Cabernet Sauvignon grape
[4] Ultrasound

میلی‌لیتر محلول ۱۰ درصد فولین سیوکالتو مخلوط شد و بعد از ۳ دقیقه ۲ میلی‌لیتر محلول ۷/۵ درصد کربنات سدیم (۷۵ گرم در لیتر) به آن اضافه، سپس جذب نمونه در ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید. نتایج برحسب میلی‌گرم اسیدگالیک موجود در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصارهٔ استخراجی گزارش گردید. جهت رسم منحنی استاندارد از رقت‌های ۷۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدگالیک استاندارد استفاده شد و با استفاده از رابطهٔ (۱) مقدار کل ترکیبات فنلی تعیین گردید.

رابطهٔ (۱)

$$y=۰/۰۰۱۲x-۰/۰۴۱۹$$

در رابطهٔ (۱)، x: مقدار علظت برحسب میکروگرم در لیتر و y: درصد جذب می‌باشد.

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصارهٔ استخراج‌شده به روش DPPH

خاصیت آنتی‌رادیکالی عصارهٔ استخراج‌شده براساس توانایی‌دادن اتم هیدروژن یا الکترون در عصاره‌های اتانولی یا میزان بی‌رنگ‌کردن محلول بنفش ۲-۲دی‌فنیل-۱پیکریل هیدرازیل[1] (DPPH) مورد سنجش قرار گرفت (Galvez *et al*., 2007). درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از رابطهٔ (۲) محاسبه گردید:

رابطهٔ (۲)

$$DPPH\% = (A_{blank} - A_{sample} / A_{blank}) \times ۱۰۰$$

اندازه‌گیری آنتوسیانین به روش pH افتراقی

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین‌ها از روش Fuleki و Fransis (۱۹۶۸) استفاده شد. در این روش جذب نمونه‌های تهیه‌شده توسط بافر pH=۱ و pH=۴/۵ به‌وسیلهٔ دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu، مدل ۱۲۸۰، ساخت ژاپن) در طول موج ۵۱۰ نانومتر برحسب رنگدانهٔ سیانیدین-۳-گلیکوزید[2] موجود در انگور قرمز که بیشترین جذب را در طول موج ۵۱۰ نانومتر نشان می‌دهد، اندازه‌گیری شد و درنهایت غلظت آنتوسیانین‌ها از رابطهٔ (۳) به‌دست آمد:

رابطهٔ (۳)

$$C\ mg/l=\Delta A/€L\times M\times D$$

در رابطهٔ (۳)، D: فاکتور رقیق‌کردن، Δ A: اختلاف جذب نمونه‌ها در pH=۱ و pH=۴/۵، M: جرم مولکولی سیانیدین-۳-گلیکوزید (۴۴۹/۲ گرم/مول)، €: جذب مولی سیانیدین-۳-گلیکوزید (۲۹/۶۰۰ لیتر/مول سانتی‌متر) و L: طول سل برحسب سانتی‌متر است.

آزمایش‌های انجام‌شده با کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا برای شناسایی ترکیبات زیست‌فعال عمده

به‌منظور تجزیهٔ کروماتوگرافی از دستگاه (KNAUER، ساخت آلمان) کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا به‌همراه آشکارساز (K-UV 1500) و مجهز به نمونه‌بردار خودکار استفاده شد و جداسازی با ستون یوروسفر[3] (C۱۸،۵×۴/۶×۲۵۰) با قطر ذرات ۵ میکرومتر انجام گرفت (Barreca *et al*., 2016).

ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت

برای ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال عمدهٔ موجود در عصارهٔ بهینهٔ استخراج‌شده از پوست انگور قرمز از دیواره‌های مالتودکسترین و صمغ عربی با نسبت‌های ۵۰-۵۰، ۷۵-۲۵ وزنی/وزنی باتوجه‌به نتایج سایر پژوهش‌ها و باتوجه‌به آزمایش‌های اولیه انتخاب شدند (Sharifi *et al*., 2015). دیواره‌های مالتودکسترین و صمغ عربی به عصارهٔ پوست انگور به نسبت ۴ به ۱ اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۱۰۰۰ دور در دقیقه توسط هموژنایزر (مدل APV Homogenisers 2000، Albertslund، ساخت دانمارک) هموژن گردید. از یک خشک‌کن پاششی (مدل B-191، Laboratoriums-Technik، ساخت سوئیس) جهت تولید پودر استفاده و دمای ورودی ۱۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد درنظرگرفته شد (Sharifi *et al*., 2015).

[1] 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
[2] Cyanidin 3-glucoside
[3] Eurospher

بررسی خصوصیات پودر حاصل از ریزپوشانی

میزان رطوبت

میزان رطوبت پودر ریزپوشانی‌شده به روش خشک‌کردن با آون (مدل Heraeus UT5050E، W، ساخت آلمان) تعیین شد (AOAC, 1990).

فعالیت آبی

فعالیت آبی پودر ریزپوشانی‌شده پس از تولید و نگهداری در دسیکاتور تا رسیدن دمای پودر به دمای اتاق، به کمک دستگاه سنجش فعالیت آبی (مدل hygropalm-Rotronic hp23، ساخت سوئیس) در دمای ۰/۱±۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

حلالیت

۱ گرم پودر ریزپوشانی‌شده به ۱۰۰میلی‌لیتر آب اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۵ دقیقه با همزن مغناطیسی (مدل LTD، Stuart Scientific، ساخت انگلستان) در سرعت بالا هم‌خورد و سپس به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ گشت. ۲۵ میلی‌لیتر از مایع سطحی به پتری‌دیش انتقال یافت و در آون با دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خشک شد. درصد حلالیت با استفاده از تفاوت وزن‌ها محاسبه گردید (AOAC, 1990).

تولید ماست حاوی عصاره و پودر ریزپوشانی انگور قرمز سردشت

شیر از کارخانه شیر دگا در سلماس ارومیه تهیه شد. قبل از شروع آزمایش‌ها، شیر از لحاظ کیفی مورد بررسی قرار گرفت و فاکتورهایی نظیر pH، اسیدیته (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۵) و چربی (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۷۱) اندازه‌گیری شد. درنهایت شیر با ۳/۵ درصد چربی، ۰/۱۶ درصد (برحسب درصد اسیدلاکتیک) اسیدیته و pH ۶/۶-۶/۷ برای تولید ماست آماده شد. فرایند تهیهٔ ماست طبق روش پیشنهادی Tamime و Robinson (۲۰۰۷) انجام گرفت. شیر در دمای ۹۲ درجهٔ سانتی‌گراد و مدت زمان ۵ دقیقه پاستوریزه شد. با رسیدن دمای شیر به ۴۲ درجهٔ سانتی‌گراد، در ظروف استریل ۱ لیتری تقسیم‌بندی گردید و سپس ۰/۴ درصد حجمی از کشت آغازگر (YC-X11) خریداری‌شده از شرکت کریستین هانسن کشور دانمارک حاوی باکتری‌های *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس*[1] و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*[2] به به شیر اضافه شد. ظروف دربندی و به انکوباتور ۴۲ درجهٔ سانتی‌گراد انتقال داده شدند. پس از رسیدن اسیدیتهٔ نمونه‌ها به ۰/۶ درصد برحسب اسیدلاکتیک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری گردید. سپس عصارهٔ تغلیظ‌شدهٔ انگور قرمز با بریکس ۲۷ و پودر ریزپوشانی انگور قرمز به نسبت‌های ۰/۳ و ۰/۶ درصد/وزنی به ماست‌های تولیدی اضافه شد. از کوفاکتور فنلی اسیدتانیک به میزان ۱ درصد/وزنی برای پایداری آنتوسیانین در نمونه‌ها استفاده گردید (Bordignon *et al*.,2006). برای تعیین مقدار عصاره و پودر اضافه‌شده به ماست آزمون حسی با کمک ۱۰ نفر ارزیاب برگزار شد. نمونه‌ها برای بررسی برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی به مدت ۲۱ روز نگهداری شدند. تیمارهای تولیدشده به‌ترتیب زیر بودند:

C: شاهد

Y1: ماست و عصارهٔ ۰/۳ درصد

Y2: ماست و پودر ریزپوشانی ۰/۳ درصد

Y3: ماست و پودر ریزپوشانی ۰/۳ درصد و تانیک اسید ۱ درصد

Y4: ماست و پودر ریزپوشانی ۰/۶ درصد

Y5: ماست و پودر ریزپوشانی ۰/۶ درصد و تانیک اسید ۱ درصد

بررسی برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست تولیدی

اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنلی و قدرت آنتی‌اکسیدانی

مقدار کل ترکیبات فنلی به روش فولین سیوکالتو شرح‌داده‌شده توسط Naczk و Shahidi (۲۰۰۴) تعیین شد. جهت رسم منحنی استاندارد از رقت‌های ۷۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدگالیک استاندارد و رابطهٔ (۴) استفاده شد.

رابطهٔ (۴)

$$y=۰/۰۰۶۲x+۰/۳۰۰۷$$

[1] *Lactobacillus Bulgaricus*

[2] *Streptococcus Thermophilus*

خاصیت گیرندگی رادیکال آزاد عصارهٔ استخراج‌شده از ماست براساس توانایی‌دادن اتم هیدروژن یا الکترون در عصاره‌های اتانولی یا میزان بی‌رنگ‌کردن محلول بنفش ۲-۲دی فنیل-۱پیکریل هیدرازیل (DPPH) در متانول مورد سنجش قرار گرفت (Galvez *et al*., 2007).

تعیین میزان آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین‌های موجود در ماست در روزهای صفر، ۷، ۱۴ و ۲۱ از روش Fransis و Fuleki (۱۹۶۸) استفاده شد.

تعیین میزان آب‌اندازی در نمونه‌های ماست

اندازه‌گیری آب‌اندازی نمونه‌ها بر طبق روش Zainoldin و Baba (۲۰۰۹) انجام شد. وزن مشخصی از ماست (M_1)، داخل سل سانتریفیوژ با دور ۱۱۰۰ دور بر دقیقه دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت زمان ۱۰ دقیقه قرار گرفت. سپس مایع رویی وزن شد (M_2). با استفاده از رابطهٔ (۵) آب‌اندازی نمونه‌های ماست تعیین گردید.

رابطهٔ (۵)

آب‌اندازی = (M1)/(M2)×۱۰۰

تجزیه‌وتحلیل آماری

کلیهٔ آزمایش‌ها مربوط به بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر ریزپوشانی‌شده از آزمون T-test زوجی و ارزیابی پایداری ترکیبات زیست‌فعال استخراج‌شده در ماست، به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. آنالیز آماری با نرم‌افزار SAS و مقایسهٔ میانگین‌ها به روش دانکن در سطح ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Microsoft Excel نسخهٔ ۲۰۰۷ انجام گرفت.

نتایج و بحث

شناسایی ترکیبات فنلی و آنتوسیانین پوست انگور قرمز سردشت با کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا

در شرایط استخراج بهینه با فراصوت در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه مقدار آنتوسیانین ۱۲۱/۶۴۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر عصاره، ترکیبات فنلی ۱۱۴/۱۱۵ میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ میلی‌لیتر و قدرت آنتی‌اکسیدانی عصارهٔ استخراج‌شده نیز ۶۴/۸۹ درصد بود. جدول (۱) ترکیبات فنلی و آنتوسیانین موجود در عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار مربوط به گالیک اسید سپس کاتکین، سالسیلیک اسید و وانیلیک اسید بود. از آنتوسیانین‌های موجود در عصارهٔ بهینه پتونیدین-۳-او-گلوکوپیرانوزید[1] و پئونیدین-۳-او-گلوکوزید کلرید[2] شناسایی شد.

جدول ۱ - ترکیبات فنلی و آنتوسیانینی موجود در عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت

ترکیبات فنلی	مقدار (پی‌پی‌ام)
گالیک اسید	۱۵۰/۱±۰/۰۶
کاتکین	۴۲/۲±۰/۰۴
وانیلیک اسید	۵±۰/۰۱
سالسیلیک اسید	۱۰±۰/۰۲
پتونیدین-۳-او-گلیکوپیرانوزید	۹۴/۲۳±۰/۰۶
پئونیدین-۳-او-گلوکوزید کلرید	۶۹۶±۰/۰۲

Ramirez-Lopez و DeWitt (۲۰۱۴) به آنالیز ترکیبات فنلی پورهٔ خشک انگور با کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا پرداختند که بیشترین میزان این ترکیبات مربوط به اسیدگالیک[3]، کاتشین[4] و اپی‌کاتشین‌گالات[5] بود. مالویدین[6] و پلارگونیدین[7] مهم‌ترین آنتوسیانین‌ها بودند. Samah و همکاران (۲۰۱۲) ترکیبات فنلی پوست ۳ انگور سفید، قرمز و سیاه ارزیابی کردند که بیشترین ترکیبات فنلی در پوست انگور سیاه بود و اصلی‌ترین ترکیب سینامیک اسید بود. محققین زیادی به بررسی ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌های موجود در منابع گیاهی پرداخته‌اند. Simuni و همکاران (۲۰۰۵) مقدار آنتوسیانین در ۴ واریتهٔ گیلاس ترش را به‌وسیلهٔ کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا و اسپکتروفتومتری جرمی اندازه‌گیری، آنالیز و شناسایی کردند. دو رنگدانهٔ سیانیدین-۳-گلیکوزیل روتینوزی و سیانیدین-۳-روتینوزید به‌عنوان

[1] Petunidin 3-o glucopyranoside
[2] Peonidin 3-o-glucoside Chloride
[3] Gallic Acid
[4] Catechin
[5] Epigallocatechin Gallat
[6] Malvidin
[7] Pelargonidin

آنتوسیانین‌های اصلی گیلاس شناسایی شدند.

بررسی خصوصیات پودر ریزپوشانی‌شدهٔ عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت

نتایج مربوط به آنالیز برخی خصوصیات فیزیکی پودر تولیدشده از عصارهٔ بهینهٔ پوست انگور قرمز سردشت شامل فعالیت آبی، رطوبت، حلالیت، ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مقدار آنتوسیانین‌ها و پارامترهای رنگی در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲ - خصوصیات پودر ریزپوشانی‌شدهٔ عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت

متغیر	نسبت مالتودکسترین به صمغ عربی	میانگین	انحراف استاندارد	t	p-value
رطوبت (درصد)	۲۵-۷۵	۱/۹۴	۰/۱۰	-۱/۲۸	۰/۳۲
	۵۰-۵۰	۲/۰۶	۰/۰۷		
حلالیت (درصد)	۲۵-۷۵	۸۰/۸	۰/۷۵	-۹/۵۴	۰/۰۱
	۵۰-۵۰	۸۵/۱۰	۰/۱۳		
فعالیت آبی	۲۵-۷۵	۰/۱۲	۰/۰۰	-۴۵/۱۹	۰
	۵۰-۵۰	۰/۱۵	۰/۰۰		
ترکیبات فنلی (میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	۲۵-۷۵	۳۲۴۰۵/۳۶	۵۵۹۶۲/۲۴	۱	۰/۴۲
	۵۰-۵۰	۱۰۲/۹۸	۱/۴۵		
آنتوسیانین (میلی‌گرم/میلی‌لیتر)	۲۵-۷۵	۹۸/۷۳	۰/۸۸	-۸/۹۸	۰/۱۲
	۵۰-۵۰	۱۰۹/۸۸	۱/۲۶		
فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)	۲۵-۷۵	۴۷/۵۶	۰/۱۸	-۱۶/۲۸	۰/۰۰
	۵۰-۵۰	۵۵/۴۰	۰/۶۵		

رطوبت

۲ نمونه پودر ریزپوشانی‌شدهٔ عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت ازنظر مقدار رطوبت مورد مقایسه قرار گرفت. نسبت دیواره‌های مالتودکسترین به صمغ عربی در این پودرها به‌ترتیب ۵۰ به ۵۰ و ۷۵ به ۲۵ بود. با اینکه بیشترین رطوبت مربوط به نمونهٔ ۵۰-۵۰ (۲ درصد رطوبت) و در نمونهٔ ۷۵ به ۲۵ (۱/۷۴ درصد) بود ولی ازنظر آماری این ۲ نمونه اختلاف معنی‌دار با هم نداشتند ($P\geq$۰/۰۵)، (جدول ۲). رطوبت در نمونه‌هایی که نسبت صمغ عربی بیشتر است باید بالاتر از نمونه‌های دیگر باشد، زیرا صمغ عربی هتروپلی‌ساکاریدی با ساختاری شاخه‌دار بوده که دارای گروه‌های هیدروفیل می‌باشد و درنتیجه با مولکول‌های آب پیونددادهٔ و مانع خروج آنها می‌شود (کوروشیان و همکاران، ۱۳۹۴).

حلالیت

بیشترین حلالیت در نمونهٔ ۵۰-۵۰ دیده شد (۸۵ درصد) و اختلاف آماری معنی‌دار با نمونهٔ ۲۵-۷۵ (۸۰ درصد) داشت ($P\leq$۰/۰۵)، (جدول ۲). ترکیب مالتودکسترین و صمغ عربی حلالیت بسیار بالایی در آب دارد و اصولاً نیز به‌دلیل همین حلالیت بالا در آب و ویژگی‌های فیزیکی خود در فرایند خشک‌کردن پاششی مورد استفاده قرار می‌گیرند (کوروشیان و همکاران، ۱۳۹۴) ولی نتایج تحقیق Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد افزایش درصد مالتودکسترین یا صمغ عربی یا افزایش دما در افزایش حلالیت پودرها تأثیر معنی‌داری نداشت.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج بررسی تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان داد از این نظر اختلاف معنی‌داری بین دو نمونهٔ تولیدی وجود نداشت ($P\geq$۰/۰۵). قدرت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد در نمونهٔ ریزپوشانی‌شده با دیواره‌های مالتودکسترین و صمغ عربی با نسبت ۵۰-۵۰، ۵۵ درصد بود، درحالی‌که در نمونه‌های ریزپوشانی‌شده با دیواره‌های مالتودکسترین و صمغ عربی با نسبت ۲۵-۷۵، ۴۷ درصد بود (جدول ۲).

محتوای ترکیبات فنلی

نسبت مالتودکسترین و صمغ عربی بر محتوای ترکیبات فنلی دو نمونهٔ بررسی‌شده تأثیر معنی‌دار نداشت. نمونهٔ ریزپوشانی‌شده با نسبت ۵۰-۵۰ مالتودکسترین و صمغ عربی میزان ترکیبات فنلی بیشتری (۱۰۲/۹۸ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر) نسبت به ۲۵-۷۵ (۹۶/۱۱ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میل‌لیتر) نشان داد (جدول ۲).

مقدار آنتوسیانین

نتایج ارزیابی محتوای کل آنتوسیانین‌ها در دو نمونهٔ مورد آزمایش نشان داد بیشترین مقدار آنتوسیانین در نمونهٔ ریزپوشانی‌شده با نسبت ۵۰-۵۰ مالتودکسترین و صمغ عربی به میزان ۱۰۹/۸۹ میلی‌گرم/میلی‌لیتر مشاهده شد که اختلاف معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) با نمونهٔ ریزپوشانی‌شده با نسبت ۷۵-۲۵ مالتودکسترین و صمغ عربی داشت ۹۸/۷۳ میلی‌گرم/میلی‌لیتر) (جدول ۲). Tonon و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تخریب آنتوسیانین‌ها در مدت نگهداری پودر انکپسوله‌شدهٔ تولیدشده از آکائی با مواد پوشش‌دهندهٔ مختلف به این نتیجه رسیدند که واکنش تخریب آنتوسیانین‌ها از معادلهٔ درجه اول پیروی می‌کند همچنین افزایش دما تأثیر منفی روی محتوای آنتوسیانین پودر حاصل داشت ولی نوع پوشش‌دهنده تأثیر معنی‌داری روی تخریب یا حفظ آنتوسیانین نداشت و آنتوسیانین پودر ریزپوشانی‌نشده با شدت بیشتری تخریب شد. Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند با افزایش دما مقدار آنتوسیانین نمونه‌های ریزپوشانی‌شدهٔ عصارهٔ زرشک با مالتودکسترین و صمغ عربی کاهش می‌یابد ولی تغییر نسبت مواد حامل تأثیر معنی‌داری روی محتوای آنتوسیانین پودرها نداشت.

فعالیت آبی

در این تحقیق نمونهٔ ریزپوشانی‌شده با نسبت ۵۰-۵۰ مالتودکسترین و صمغ عربی فعالیت آبی بالاتری (۰/۱۵۶) نسبت به نمونهٔ دیگر (۰/۱۲۳) داشت ($P\leq$۰/۰۵) (جدول ۲). افزایش مقدار مالتودکسترین در پوشش سبب کاهش فعالیت آبی شد. نتایج به‌دست‌آمده در این بخش با نتایج حاصل از بررسی رطوبت نمونه‌ها مطابقت داشت. Tonon و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تولید پودر انکپسوله‌شده از آکائی با مواد پوشش‌دهندهٔ مختلف به این نتیجه رسیدند که نوع پوشش‌دهنده تأثیر معنی‌دار روی فعالیت آبی نمونه‌ها دارد.

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماست حاوی عصاره و پودر ریزپوشانی پوست انگور قرمز سردشت

جدول (۳) نتایج بررسی مقدار آب‌اندازی، آنتوسیانین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای ترکیبات فنلی ماست حاوی عصاره و پودر ریزپوشانی پوست انگور قرمز سردشت را در طول دورهٔ ۲۱ روز نگهداری نشان می‌دهد.

جدول ۳ - تغییرات آب‌اندازی و مقدار آنتوسیانین ماست طی ۲۱ روز نگهداری

تیمار	صفات مورد بررسی							
	آب‌اندازی				آنتوسیانین			
	روز ۱	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱	روز ۱	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
کنترل	۳/۲۶±۰/۲۱^{D,a}	۴/۹۸±۰/۲۰^{C,a}	۶/۹۰±۰/۳۱^{B,a}	۸/۲۴±۰/۵^{A,a}	۰۰±۰۰^{A,e}	۰۰±۰۰^{A,e}	۰۰±۰۰^{A,d}	۰۰±۰۰^{A,d}
عصارهٔ ۰/۳ درصد	۲/۲۸±۰/۱۸^{C,b}	۲/۸۹±۱/۵^{BC,b}	۳/۴۶±۰/۲۲^{B,b}	۴/۳۳±۰/۳۲^{A,b}	۴/۳۲±۰/۲۴^{A,d}	۳/۵۵±۰/۲۳^{B,d}	۳/۱۸±۰/۲۳^{B,c}	۲/۶±۰/۲۰^{C,c}
پودر ۰/۳ درصد	۰/۹۷±۰/۱۱^{C,c}	۱/۳۳±۱/۱^{BC,c}	۲/۴۴±۰/۱۱^{B,c}	۳/۷۵±۰/۲۲^{A,c}	۷/۵۵±۰/۴۴^{A,b}	۴/۳۹±۰/۳۳^{B,c}	۳/۲۳±۰/۲۵^{C,c}	۲/۹۹±۰/۲۴^{C,bc}
پودر ۰/۳ درصد+اسیدتانیک	۰/۶۴±۰/۰۹^{C,d}	۱/۱۹±۱/۰۱^{BC,c}	۱/۷۷±۰/۰۵^{B,d}	۳/۵۱±۰/۱۹^{A,cd}	۶/۵۶±۰/۳۵^{A,c}	۶/۱۷±۰/۵۱^{A,a}	۶/۱۱±۰/۶۶^{A,a}	۴/۶۴±۰/۳۶^{B,a}
پودر ۰/۶ درصد	۰/۵۴±۰/۰۵^{D,d}	۱/۱۳±۰/۰۱^{C,c}	۱/۸۸±۰/۴۰^{B,de}	۳/۳۴±۰/۱۸^{A,d}	۸/۶۷±۰/۶۱^{A,a}	۵/۳۰±۰/۴۱^{B,b}	۳/۸۶±۰/۲۳^{C,b}	۳/۴۳±۰/۳۱^{C,b}
پودر ۰/۶ درصد+اسیدتانیک	۰/۴۲±۰/۰۱^{D,e}	۰/۷۵±۰/۰۱^{C,d}	۱/۳۵±۰/۲۰^{B,e}	۳/۵۰±۰/۱۵^{A,cd}	۸/۹۴±۰/۶۸^{A,a}	۶/۵۷±۰/۴۸^{B,a}	۶/۶۸±۰/۵۹^{B,a}	۴/۶۳±۰/۳۳^{C,a}

* حروف کوچک متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر تیمارها در هر روز در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

* حروف بزرگ متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر هر تیمار در طی زمان در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

بررسی مقدار آنتوسیانین

جدول (۳) نشان می‌دهد که استفاده از عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت، پودر ریزپوشانی این عصاره و همچنین ترکیب عصاره و پودر با اسیدتانیک تأثیر معنی‌دار بر مقدار آنتوسیانین موجود در ماست داشته است ($P\leq$۰/۰۵). بیشترین آنتوسیانین در نمونهٔ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی با اسیدتانیک در روز اول پس از تولید (۸/۹۴ میلی‌گرم/میلی‌لیتر) مشاهده شد. نتایج نشان داد کاربرد پودر ریزپوشانی‌شده در حفظ محتوای آنتوسیانینی مؤثر بود. بیشترین مقدار آنتوسیانین در نمونه‌های حاوی پودر ریزپوشانی‌شده مشاهده شد که اختلاف آماری کاملاً معنی‌دار با نمونهٔ ماست حاوی عصاره داشت ($P\leq$۰/۰۵). محتوای آنتوسیانین در طول نگهداری نمونه‌های ماست به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت ($P\leq$۰/۰۵). بیشترین مقدار مربوط به روز اول تولید ماست و کمترین مقدار مربوط به روز ۲۱ نگهداری بود.

افزایش میزان پایداری آنتوسیانین در نمونه‌های حاوی اسیدتانیک با نتایج حاصل از تحقیق‌های Gris و همکاران (۲۰۰۷) همخوانی دارد. این محققین آنتوسیانین‌های انگور خاکستری را در سیستم مدل و ماست مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد اسیدکافئیک به‌طور قابل توجهی ثبات آنتوسیانین‌ها را در هر دو سیستم ماست و مدل افزایش داد؛ بنابراین باتوجه‌به حضور اسیدتانیک در نمونه‌های این تحقیق نیز، پایداری تقریبی آنتوسیانین‌ها طی نگهداری کاملاً قابل توجیه می‌باشد.

بررسی میزان ترکیبات فنلی کل

بیشترین و کمترین محتوای ترکیبات فنلی به‌ترتیب در نمونهٔ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی با اسیدتانیک در روز ۷ پس از تولید (۳۵/۲۵ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر) و نمونهٔ ماست شاهد مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴ - تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی ماست طی ۲۱ روز نگهداری

تیمار	صفات مورد بررسی							
	آب‌اندازی				آنتوسیانین			
	روز ۱	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱	روز ۱	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
کنترل	۱۸/۲۲±۲^{A,d}	۱۷/۳۶±۱/۱^{A,f}	۱۵/۱۹±۱^{B,e}	۱۳/۳۱±۲^{C,e}	۱۱/۳۶±۱^{A,d}	۱۰/۳۱±۱^{A,e}	۹/۳۵±۱/۵^{B,d}	۷/۶۴±۱^{C,f}
عصارهٔ ۰/۳ درصد	۲۵/۳±۲/۲^{A,c}	۲۴/۴۶±۲^{A,e}	۲۲/۲۴±۲^{AB,d}	۲۰/۷۸±۱/۲۰^{B,d}	۱۷/۶۵±۲/۵^{A,c}	۱۶/۴±۲/۲۰^{A,d}	۱۵/۲۶±۱^{A,c}	۱۳/۲۸±۱^{B,e}
پودر ۰/۳ درصد	۳۹/۸۶±۳^{A,b}	۳۶/۶۶±۲/۳۲^{B,d}	۳۵/۶۵±۲/۱۲^{BC,c}	۳۳/۹۳±۱/۲۲^{C,c}	۲۸/۰۸±۱/۳^{A,b}	۲۵/۴۵±۲/۲^{B,c}	۲۴/۸۱±۲/۲^{B,b}	۲۱/۳۴±۲^{C,d}
پودر ۰/۳ درصد+اسیدتانیک	۳۸/۵۶±۱/۲^{A,b}	۳۹/۱۸±۳^{A,c}	۳۸/۱۹±۱/۴۵^{A,b}	۳۶/۵۶±۱/۳۵^{B,b}	۲۷/۴۴±۲/۱^{A,b}	۲۸/۹۳±۳^{A,b}	۲۶/۸۰±۲^{AB,b}	۲۵±۲/۱^{B,c}
پودر ۰/۶ درصد	۴۴/۷۴±۳^{A,a}	۴۵/۵۴±۳/۱۲^{A,b}	۴۵/۱۸±۲/۵۲^{A,a}	۴۳/۴۹±۲^{A,a}	۳۰/۷۳±۱^{B,a}	۳۴/۰۱±۳/۱^{A,a}	۳۲/۴۶±۱/۲^{AB,a}	۳۰/۶۴±۲^{B,b}
پودر ۰/۶ درصد+اسیدتانیک	۴۴/۹۴±۱/۳^{B,a}	۴۷/۲۶±۳/۵^{A,a}	۴۶/۷۶±۱/۲۴^{A,a}	۴۵/۶۸±۳^{AB,a}	۳۰/۹۶±۳^{B,a}	۳۵/۲۵±۳^{A,a}	۳۴/۹۵±۳^{A,a}	۳۳/۳۲±۲^{AB,a}

* حروف کوچک متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر تیمارها در هر روز در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

* حروف بزرگ متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر هر تیمار در طی زمان در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

نمونهٔ ماست حاوی ۰/۳ درصد عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت در روز ۲۱ پس از تولید (۱۳/۲۸ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر) بعد از نمونهٔ شاهد حاوی کمترین میزان ترکیبات فنلی بود. تمام نمونه‌ها ازنظر مقدار ترکیبات فنلی اختلاف معنی‌دار آماری با هم داشتند ($P\leq$۰/۰۵). کارایی فرایند ریزپوشانی و همچنین استفاده از اسیدتانیک در نگهداری ترکیبات فنلی در دورهٔ نگهداری ماست با این نتایج تأیید شد. میزان ترکیبات فنلی نیز با افزایش مدت زمان نگهداری، در ماست کاهش یافت و کمترین مقدار در روز ۲۱ نگهداری مشاهده شد. تغییرات مقدار ترکیبات فنلی در روز ۷ و ۱۴ نگهداری

معنی‌دار نبود ($P\geq$۰/۰۵). ترکیبات پلی‌فنلی نمونهٔ شاهد احتمالاً به‌خاطر حضور پلی‌فنل‌ها در شیر می‌باشد که عمدتاً ناشی از تغذیهٔ دام هستند (Chouchouli *et al*., 2013). نمونه‌های حاوی پودر ریزپوشانی و اسیدتانیک نسبت به نمونهٔ دیگر، حاوی ترکیبات فنلی بیشتری بود ($P\leq$۰/۰۵) که دلیل این امر را می‌توان به خاصیت اسیدتانیک در حفظ ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها نسبت داد (Gris *et al*., 2007). نتایج مطالعهٔ Sari و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که حضور کوپیگمانت‌هایی[1] مثل اسیدهای فنلی در مدل غذایی نوشیدنی، منجربه‌افزایش محتوای فنلی نسبت به نمونه‌های بدون کوپیگمانت گردید (Sari *et al*., 2012).

بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نمونهٔ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی و اسیدتانیک (۴۷/۲۶ درصد) در روز ۷ پس از تولید حاوی بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود که با نمونهٔ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی اختلاف معنی‌دار نداشتند ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری داشتند ($P\leq$۰/۰۵). کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونهٔ شاهد مشاهده شد. نمونه‌های حاوی پودر ریزپوشانی به‌دلیل حفظ بهتر ترکیبات زیست‌فعال، قدرت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نشان دادند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش روزهای نگهداری روند کاهشی داشت. البته در روز ۷ و ۱۴ روند کاهشی معنی‌دار نبود (جدول ۴).

باتوجه‌به حضور ترکیبات زیست‌فعال در پوست انگور قرمز سردشت، نمونه‌های حاوی عصاره و پودر ریزپوشانی پوست انگور قرمز سردشت، به‌طور معنی‌داری نسبت به نمونهٔ شاهد فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نشان دادند. مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌ها و روند کاهشی آن در طول نگهداری با نتایج حاصل از ترکیبات فنلی و آنتوسیانین در این تحقیق مطابقت داشت. Sari و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که حضور ترکیباتی نظیر فرولیک، سیناپیک، اسیدکافیئک و پلی‌فنل‌های گیاه رزماری فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در مدل غذایی نوشیدنی افزایش می‌دهد.

بررسی مقدار آب‌اندازی

نمونهٔ شاهد، بیشترین میزان آب‌اندازی را داشت ($P\leq$۰/۰۵) کمترین آب‌اندازی در نمونهٔ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی با اسیدتانیک مشاهده شد. احتمالاً افزایش مقدار مادهٔ جامد در کاهش آب‌اندازی مؤثر بوده است ($P\leq$۰/۰۵). با گذشت زمان نگهداری ماست مقدار آب‌اندازی به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت و بیشترین مقدار آب‌اندازی در روز ۲۱ نگهداری مشاهده شد. کمترین مقدار آب‌اندازی در نمونهٔ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی با اسیدتانیک در روز اول نگهداری مشاهده شد و بیشترین مقدار در نمونهٔ شاهد در روز ۲۱ وجود مشاهده شد (جدول ۳).

افزایش آب‌اندازی با افزایش مدت نگهداری مربوط به شل‌شدن بافت ماست و آزادشدن آب متصل به پروتئین‌های آن باشد که تغییرات pH نیز در این امر دخیل هستند و باعث دناتوره‌شدن ساختمان پروتئین‌ها می‌شوند (Dello Staffolo *et al*., 2004).

نتیجه‌گیری

شناسایی کروماتوگرافی ترکیبات فنلی و آنتوسیانینی کل در عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت نشان داد بیشترین مقدار مربوط به گالیک اسید، سپس کاتکین، سالسیلیک اسید و وانیلیک اسید بود. از آنتوسیانین‌های موجود در عصاره پتونیدین-۳-او-گلوکوپیرانوزید و پئونیدین-۳-او-گلوکوزید شناسایی شد. نتایج ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال عصارهٔ پوست انگور قرمز سردشت نشان داد نمونهٔ پودر تولیدشده با نسبت مساوی مالتودکسترین و صمغ عربی حاوی بیشترین ترکیبات زیست‌فعال بود. نتایج

[1] Copigments

حاصل از بررسی پایداری ترکیبات زیست‌فعال عصاره در ماست نشان داد بیشترین میزان آنتوسیانین و ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونهٔ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی با اسیدتانیک مشاهده شد. علاوه‌بر این کاهش معنی‌دار ترکیبات زیست‌فعال با افزایش مدت زمان ماندگاری قابل‌ملاحظه بود. بالاترین میزان آنتوسیانین مربوط به نمونهٔ ماست حاوی ۰/۶ درصد پودر ریزپوشانی با اسیدتانیک در روز صفر بود. نتایج بیانگر افزایش قابل‌توجه در ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ماست حاوی عصاره و پودر ریزپوشانی‌شده در مقایسه با ماست شاهد بود.

منابع

۱- سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۹. شیر و فرآورده‌های آن- تعیین اسیدیته و pH -روش آزمون. شمارهٔ ۲۸۵۲، چاپ اول.

۲- سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۲. ماست -ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. شمارهٔ ۶۹۵، تجدید نظر چهارم.

۳- کرمی، م. ۱۳۷۴. شناسایی انگورهای استان کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۴- کوروشیان، م.، شریفی، ا.، مهدویان، ا. و بلوریان، ش. ۱۳۹۴. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ریزکپسول‌های عصارهٔ تمشک قرمز وحشی تهیه‌شده با روش خشک‌کردن پاششی. نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی، ۷(۴): ۸۵-۹۴.

۵- مهدوی، ح. و زنجیریان، ا. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت و امکان‌سنجی بازیابی و تولید مواد باارزش از ضایعات کشاورزی و صنایع تبدیلی وابسته. طرح تحقیقاتی پژوهشکده مهندسی جهاد کشاورزی، تهران.

6- Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S.M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. 2016a. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. International Journal of Biological Macromolecules, 85: 379-385.

7- Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S.M., Assadpour, E., & Ghorbani, M. 2016b. Storage stability of encapsulated barberry's anthocyanin and its application in jelly formulation. Journal of Food Engineering 181:59-66.

8- AOAC. 1990. Official method of analysis. Arlington, USA: Association of Official Analytical Chemists. N: 934.06.

9- Barreca, D., Laganà, G., Leuzzi, U., Smeriglio, A., Trombetta, D., & Bellocco, E. 2016. Evaluation of the nutraceutical, antioxidant and cytoprotective properties of ripe pistachio (*pistacia vera* L., variety bronte) hulls. Food Chemistry, 196:493-502.

10- Bordignon-Luiz, M.T., Gauche, C., Gris, E.F., & Falcao, L.D. 2006. Colour stability of anthocyanin from Isabel grape in model systems. Food Science and Technology, 40(4):594-599.

11- Chouchouli, V., Kalogeropoulos, N., Konteles, S.N., Karvela, E., Makris, D.P., & Karathanos, V.T. 2013. Fortification of yoghurts with grape (*vitis vinifera*) seed extracts. Food Science and Technology, 53(2):522-529.

12- Coisson. J.D., Travaglia. F., Piana. G., Capasso, M., & Arlorio, M. 2005. Euterpe oleracea juice as a functional pigment for yogurt. Food Research International, 38(8-9):893-897.

13- Dello Staffolo, M., Bertola, N., Martino, M., & Bevilacqua, A. 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. International Dairy Journal, 14(3):263-268.

14-Ersus, S., & Yurdagel, U. 2006. Microencapsulation of anthocyanin pigments of red carrot (*daucuscarota* L.) by spray drier. Journal of Food Engineering, 80(3):805-812.

15-Fuleki, T., & Francis, F.J. 1968. Quantitative methods for anthocyanins, determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice. Journal of Food Science, 33:78-83.

16-Galvez, A., Di Scala, K., Rodriguez, K., Mondaca, R.L., Miranda, M., Lopez, J., & Perez-Wan, M. 2007. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*capsicum annuum*, L. var. hungarian). Journal of Food Chemistry, 117(4):647-653.

17-Gris, E.F., Ferreira, E.A., & Bordignon-luiz, M.T. 2007. Caffeic acid copigmentation of anthocyanins from Cabernet Sauvignon grape extracts in model systems. Journal of Food Chemistry, 100(3):1289-1296.

18-Karaaslan, M., Ozden. M., Vardin. H., & Turkogla, H. 2011. Phenolic fortification of yogurt using grape and callus extracts. Food Science and Technology, 44(4):1065-1072.

19-Pourali, A., Afrouziyeh, M., & Moghaddaszadeh-ahrabi, S. 2014. Extraction of phenolic compounds and quantification of the total of grape pomace. European Journal of Experimental Biology, 4(1):174-176.

20-Rajaei, A., Barzegar, M., Hamidi, Z., & Sahari, M.A. 2010. Optimization of extraction conditions of phenolic compounds from pistachio (*pistachia vera*) green hull through response surface method. Agriculture Science Technology, 12(10):605-615.

21-Ramirez-Lopez, M.L., & DeWitt, A.M.C. 2014. Analysis of phenolic compounds in commercial dried grape pomace by high-performance liquid chromatography electrospray ionization mass spectrometry. Food Science Nutrition, 2(5):470-477.

22-Renata, V.T., & Brabet, M. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (Euterpe oleracea Mart.) juice produced with different carrier agents. Food Research International, 43(3):907-914.

23-Samah, M.I., Sahar, S.A., Soltan Khaled, A., & Ahmed, M.H. 2012. Phenolic compounds and antioxidant activity of white, red, black grape skin and white grape seeds. Life Science Journal, 9(4):3464-3474.

24-Sari, P., Hanny, H., Sajuthi, D., & Supratman, U. 2012. Colour properties, stability and free radical scavenging activity of jambolan (*syzygium cumini*) fruit anthocyanins in a beverage model system: natural and copigmented anthocyanins. Food Chemistry, 132(4):1908-1914.

25-Shahidi, F., & Naczk, M. 2004. Phenolics in food and nutraceuticals. Boca Raton, FL: CRC Press.

26-Sharifi, A., Niakousari, M., Maskooki, A. & Mortazavi, S.A. 2015. Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties of barberry *(berberis vulgaris)* extract powder. International Food Research Journal, 22(9):2364-2370.

27-Simuni, V., Kovac, S.O., sokac, D., Pfannhauser, W., & Murkovic, M. 2005. Determination of anthocyanins in four croatian cultivares of sour cherries (*prunus cerasus*). European Food Research Technology, 220(5-6):575-578.

28-Tamime, A.Y., & Robinson, R.K. 1999.Yogurt science and technology, P: 365-373. woodhead publishing, New Yourk.

29-Tonon, R.V., Brabet, C., & Hubinger, M.D. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*euterpe oleracea* mart.) juice produced with different carrier agents. Food Research International, 43(3):907-914.

30-Tonon, R.V., Brabet, C., & Hubinger, M.D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*euterpe oleraceae* mart.) powder produced by spray drying. Journal of Food Engineering, 88(3):411-418.

31-Zainoldin, K.H., & Baba, A.S. 2009. The effect of hylocereus polyrhizus and hylocereus undatus on physicochemical, proteolysis and antioxidanat activity in yogurt. World Academy of science, Engineering and Technology, 60:361-366.

Studying Physicochemical Properties of Sardasht Red Grape Skin Encapsulated Extract and Stability Evaluation of These Compounds in Yoghurt

Sara Matini[1], Seyed Ali Mortazavi[2*], Ali Reza Sadeghian[3], Akram Sharifi[4]

1- Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
2- Professor of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
* Corresponding author (morteza1937@yahoo.com)
3-Assistant Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
4- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract

Sardasht's red grape (*Vitis Viniferae cv. Rash*) skin is one of the most abundant wastes found in juice factories annually and is a rich source of bioactive compounds. In this research after preparing the extract with ethanol- chloride-acid solution from the skin of Sardasht's red grape, the bioactive compounds were determined using high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed the highest amount of phenolic compounds were for gallic acid then catechin, salicylic acid and vanillic acid. The highest levels of anthocyanins were Petunidin 3-o glucopyranoside and Peonidin 3-o-glucoside chloride. Microencapsulation of the skin of Sardasht's red grape extracted is done by maltodextrins and Arabic gum with ratios of 50-50, 75-25. The experiments were carried out, including moisture content, water activity, solubility, anthocyanin, phenolic compounds and antioxidant activity. According to the results, The powder obtained from the microencapsulation of the sample with maltodextrin and Arabic gum (50-50) with the highest phenolic compounds and antioxidant activity were selected and used in yoghurt (0.3-0.6) with tannic acid (1% by weight). Phenolic compounds, anthocyanins, antioxidant activity level of our samples during the 21 days of storage were investigated. The results showed that the most amounts of anthocyanin and phenolic compounds and antioxidant activity were observed in yoghurt with 0.6% powder with tannic acid. Significant increase in phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity of yogurt containing encapsulated powder were observed compared to control yogurt. The results showed that red grape's skin extract and powder can be used in functional food formulations.

Keywords: Arabic gum, HPLC, Maltodextrine, Microencapsulation, Sardasht's red grape

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۲۶۸-۲۵۵

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

عوامل مؤثر بر تولید و پایداری فرمولاسیون بهینهٔ نانوامولسیون حاوی ترکیب ویتامین A و D به روش تشکیل خودبه‌خودی

اکرم پزشکی نجف‌آبادی[1*]، فاطمه‌السادات هاشمی[2]، افرا مرندی[3]، خدیجه قره‌داغی[4]، سیدحسین جلالی[5]

۱- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
* نویسندهٔ مسئول (akram.pezeshki@tabrizu.ac.ir)
۲- مدرس، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز آموزش علمی-کاربردی ثمین نان سحر، تهران، ایران
۳- دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهریار- شهر قدس، تهران، ایران
۵- مربی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۵

واژه‌های کلیدی
پایداری
تویین
میگلیول
نانوامولسیون
ویتامین A و D

چکیده

نانوامولسیون‌ها به‌خاطر خصوصیات منحصربه‌فرد کاربردی خود، در غنی‌سازی بسیاری از ترکیبات آب‌گریز در نوشیدنی‌های بر پایهٔ آبی مفید هستند. در این پژوهش نانوامولسیون‌های حاوی ویتامین A و D با به‌کارگیری سورفاکتانت‌های غیریونی مختلف؛ (تویین۸۰، ۶۰ و تویین ۸۵) و روغن‌های ذرت و میگلیول ۸۱۲؛ نسبت‌های مختلف ویتامین A و D (۲:۱، ۱:۱ و ۱:۲)، نسبت‌های مختلف سورفاکتانت فاز آبی در سیستم (SER) به‌روش تشکیل خودبه‌خودی تولید و آزمون‌های تعیین اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌ها، پتانسیل زتا، مورفولوژی، خصوصیات رئولوژیکی، کدورت و پایداری آنها طی ۹۰ روز نگهداری انجام گرفت. تجزیهٔ واریانس داده‌های پراکنش نور لیزر کمترین اندازهٔ ذرات را مربوط به فرمولاسیون با SER ۱۷/۵ درصد و با استفاده از تویین ۸۰ در میگلیول ۸۱۲ (حاوی ۵ درصد ویتامین A و D) نشان داد که برابر ۸۱ نانومتر و پتانسیل زتای ۲۷/۹- بود. این فرمولاسیون بهینه در طی مدت زمان نگهداری (۳ ماه) در دمای ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد پایدار ماند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز تأییدی بر نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری اندازهٔ قطره‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری ذرات در مقیاس نانو بود. بررسی رفتار رئولوژیکی نانوامولسیون بهینه نیز حاکی از رفتار نیوتنی و وابسته‌نبودن ویسکوزیتهٔ نانوامولسیون به سرعت برشی بود.

مقدمه

راهکارهای مختلفی به‌منظور جبران کمبود ناشی از دریافت و تولید اندک ویتامین‌ها در بدن و جلوگیری از تجزیهٔ آنها پیشنهاد شده است که از مهم‌ترین و عملی‌ترین آنها، درون‌پوشانی[1] است. به‌علت حلالیت پایین ویتامین‌های محلول در چربی در محصولات بر پایهٔ فاز آبی و انواع نوشیدنی‌ها، عموماً توانایی و پتانسیل محبوس‌شدن آنها در ساختارهای نانوکپسول، بالاست که البته این امر خود به پارامترهای مختلف ازقبیل نوع سیستم و فرمولاسیون آنها بستگی دارد (Saberi *et al.*, 2013). درون‌پوشانی تکنولوژی قراردهی مواد مایع، جامد و گازی‌شکل درون کپسول‌های کوچک است که در ادامه این کپسول‌ها محتویات درون خود را در مقادیر کنترل‌شده در طی بازه‌های زمانی طولانی مدت، در مناطق هدف رها

[1] Encapsulation

می‌کنند (پزشکی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Champagne & Fustier, 2007). استفاده از نانوحامل‌های لیپیدی برای ترکیبات غذا-داروی آب‌گریز (نوتریسیتیکال[1]) مانند ویتامین‌های محلول در چربی می‌تواند مزایای متعددی ازجمله محافظت در برابر اکسیداسیون، جلوگیری از تجزیه و غیرفعال‌شدن آنها در طی فرایند و نگهداری، افزایش حلالیت در محیط‌های آبی، دسترسی زیستی بالاتر به‌دلیل اندازهٔ کوچک و نسبت سطح به حجم بالای قطره‌ها را داشته باشد (Ghanbarzadeh *et al.*, 2016). یکی از سیستم‌های نانوحامل بر پایهٔ لیپید، نانوامولسیون است که سیستم‌های شفاف با اندازهٔ قطره‌ها در محدودهٔ ۱۰۰-۲۰ نانومتر هستند و باتوجه‌به دارابودن قطره‌های کوچک‌تر از اندازهٔ طول موج نور، نسبت به امولسیون‌های متداول، شفاف‌تر بوده و نسبت به پدیده‌های تفکیک گرانشی و تجمع‌یافتن، قطره‌ها مقاومت بیشتری دارند (Fathi *et al.*, 2012; Najafi-Taher & Amani., 2017; Li *et al.*, 2012). در تهیهٔ نانوامولسیون جهت تشکیل و افزایش سطح بین فاز روغن و فاز آبی نیاز به ورود انرژی به سیستم بوده که این انرژی ازطریق انرژی تجهیزات (روش پرانرژی) یا انرژی پتانسیل اجزاء (روش کم‌انرژی) تأمین می‌گردد. نتایج تحقیق‌ها نشان داد روش‌های کم‌انرژی نسبت به روش‌های پرانرژی در تولید قطره‌های ریز مؤثرتر بوده و تنها محدودیت آنها نوع روغن و امولسیفایر مورد استفاده است. به‌طوری‌که باید از غلظت‌های نسبتاً بالایی از امولسیفایرهای سنتزی استفاده شود که این امر استفاده از این روش‌ها را در بسیاری از مصارف غذایی محدود می‌کند (Rao & McClements, 2012; Silva *et al.*, 2012).

تولید خودبه‌خودی امولسیون یکی از روش‌های کم‌انرژی تولید نانوامولسیون است که درنتیجهٔ تیتراسیون یک فاز آلی حاوی محلول هموژنیزهٔ روغن، سورفاکتانت هیدروفیل و حلال قابل امتزاج با آب در فاز آبی است (Guttoff *et al.*, 2015). تولید امولسیون به روش خودبه‌خودی توسط مکانیزم‌های مختلفی مثل انتشار مواد موجود در محلول بین دو فاز، آشفتگی بین سطحی، گرادیان کشش سطحی، مکانیزم پراکندگی و مکانیزم کندانس‌شدن انجام می‌گیرد که احتمالاً تحت‌تأثیر ترکیبات سیستم و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها مثل ویژگی‌های فیزیکی فاز روغنی و سورفاکتانت است (پزشکی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Silva *et al.*, 2012). زمانی که دو فاز در مجاورت هم قرار می‌گیرند، سورفاکتانت که در هر دو فاز قابل امتزاج است، به‌تدریج از فازی که در آن حضور داشت به فاز دیگر مهاجرت می‌کند. با مهاجرت این ترکیب، مساحت بین‌سطحی افزایش می‌یابد، آشفتگی بین سطحی ایجاد می‌شود و درنهایت امولسیون تشکیل می‌شود. می‌توان با تغییردادن شرایط هم‌زدن و نوع فازهایی که برای تولید امولسیون از آنها استفاده شده است، اندازهٔ قطره‌ها را کنترل نمود (Najafi-Taher & Amani, 2017).

در پژوهش‌های صورت‌گرفته در سال‌های اخیر به تولید و بررسی عوامل مؤثر بر اندازهٔ ذرات و پایداری نانوامولسیون‌های غذایی جهت استفاده در غنی‌سازی انواع نوشیدنی‌ها پرداخته شده است، ازآن‌جمله می‌توان به غنی‌سازی شیر کم‌چرب پاستوریزه با نانوامولسیون حاوی ویتامین A پالمیتات با روغن حامل میگلیول[2] ۸۱۲ و امولسیفایر تویین ۸۰ (پزشکی و همکاران، ۱۳۹۴)، نانوامولسیون حاوی ویتامین D به روش تشکیل خودبه‌خودی (Guttoff *et al.*, 2015) نانوامولسیون حاوی مادهٔ فعال زردچوبه (کورکومین) (Sood & Gowthamarajan, 2014) تولید نانوامولسیون حاوی ویتامین E توسط روش خودبه‌خودی و سورفاکتانت‌های مختلف (Saberi *et al.*, 2013؛ نیک‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲)، نانوامولسیون حاوی بتاکاروتن (حسنی، ۱۳۹۴)، تولید نانوامولسیون حاوی کنژوگه لینولئیک اسید (فامیان، ۱۳۹۵)، نانوامولسیون حاوی رزوراترول[3] بر پایهٔ روغن بادام‌زمینی (Davidov-Pardo & McClements, 2014) و نانوامولسیون حاوی آلفاتوکوفرول (مساح و همکاران، ۱۳۹۲) اشاره کرد. لذا باتوجه‌به تحقیق‌های صورت‌گرفته در قبل، هدف از این کار پژوهشی، تولید نانوامولسیون حاوی ویتامین A پالمیتات و D_3 به روش کم‌انرژی تشکیل خودبه‌خودی و بررسی عوامل مؤثر در تولید و پایداری فرمولاسیون بهینهٔ آن

[1] Nutricitical

[2] Miglyol

[3] Resveratrol

به‌منظور استفاده از آن به‌عنوان مکمل غذایی در غنی‌سازی نوشیدنی‌های شفاف و شیر کم‌چرب است.

مواد و روش‌ها

مواد: آب دیونیزه، ویتامین A پالمیتات با درجهٔ خلوص ۹۸ درصد (سیگما، آلمان)، میگلیول ۸۱۲ و ویتامین D_3 (ایران، شرکت داروسازی زهراوی)، روغن ذرت (سیگما، آلمان)، بافرفسفات، سورفاکتانت‌های غیریونی پلی‌سوربات (توین ۸۰، ۶۰ و ۸۵) (سیگما، آلمان).

تولید نانوامولسیون به روش تشکیل خودبه‌خودی

نانوامولسیون حاوی ویتامین A و D با استفاده از روش کم‌انرژی تشکیل خودبه‌خودی امولسیون، با اضافه‌شدن قطره‌قطرهٔ محلول ویتامین A و D در روغن حامل به‌همراه سورفاکتانت غیریونی هیدروفیل روی آب دیونیزه تولید گردید (Anton & Vandamm, 2009). درحین تشکیل، امولسیون به‌طور مداوم توسط همزن مغناطیسی دارای سنسور تنظیم و حفظ دما (Hiedolph، مدل ۳۰۰۰، ساخت آلمان) با سرعت بهینهٔ ۵۰۰ دور در دقیقه در دمای آزمایشگاه (۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد) هم‌زده شد. پس از اتمام ریختن فاز روغنی، به سیستم به مدت ۴۰ دقیقه فرصت داده شد در سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه هم‌زده شود تا به تعادل برسد. متوسط اندازهٔ قطره‌های نانوامولسیون‌های تولیدشده براساس میانگین قطر حجمی (رابطهٔ ۱) و شاخص پخش‌پذیری (اسپن[1]) از روی توزیع اندازهٔ ذرات در دستگاه اندازه‌گیری اندازهٔ ذرات (Shimodzu، مدل Sald-2101، ساخت ژاپن) تعیین گردید. این دستگاه براساس پراکنش نور لیزر عمل می‌کند. کلیهٔ اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار پس از گذشت ۲۴ ساعت از تولید نمونه و نگهداری آن در دمای محیط انجام شد.

میانگین قطر حجمی (میانگین حجم معادل[2]):

رابطهٔ (۱)

$$\overline{D}[4,3] = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$$

در رابطهٔ (۱)، n_i: تعداد ذرات، d_i: قطر میانگین ذرات می‌باشد.

[1] Span
[2] Debroukere Mean

توزیع اندازهٔ ذرات نیز با استفاده از رابطهٔ (۲) محاسبه شد:

رابطهٔ (۲)

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

در رابطهٔ (۲)، (۹۰ درصد)D: قطری که حجم ذرات کوچک‌تر از آن، ۹۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم؛ (۵۰ درصد)D: قطری که حجم ذرات کوچک‌تر از آن، ۵۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم (قطر میانه) و (۱۰ درصد)D: قطری که حجم ذرات کوچک‌تر از آن، ۱۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می‌دهد.

تأثیر غلظت سورفاکتانت در تولید قطره‌های ریز نانوامولسیونی

تأثیر غلظت سورفاکتانت در تولید قطره‌های ریز نانوامولسیونی با تغییر نسبت سورفاکتانت به امولسیون (SER)[3] و مقدار فاز آبی و ثابت نگه‌داشتن مقدار فاز روغنی (۱ گرم حاوی ۵ درصد ویتامین A و D + ۹۵ درصد میگلیول ۸۱۲) بررسی شد (رابطهٔ ۳).

رابطهٔ (۳)

$$\%SER = 100 \times \frac{M_S}{M_S + M_O + M_W}$$

در رابطهٔ (۳)، M_S: مقدار سورفاکتانت مورد استفاده، M_W: مقدار آب بافر مورد استفاده و M_O: مقدار فاز روغنی (۱ گرم حاوی ۵ درصد ویتامین A و D + ۹۵ درصد میگلیول ۸۱۲) در نانوامولسیون‌های تولیدشده، ۵ درصد متفاوت SER (۱۰، ۱۲/۵، ۱۵، ۱۷/۵ و ۲۰ درصد) بررسی شد.

تأثیر نوع سورفاکتانت در فرمولاسیون نانوامولسیون بهینه

جهت بررسی تأثیر نوع سورفاکتانت بر تولید قطره‌های ریز نانوامولسیون بهینه از ۳ نوع سورفاکتانت سنتزی غیریونی (توین ۸۰، ۶۰ و ۸۵) استفاده شد. ساختار شیمیایی و خصوصیات فیزیکی این سورفاکتانت‌های سنتزی غیریونی در جدول (۱) آورده شده است.

[3] Surfactant Emulsion Ratio

جدول ۱- ساختار شیمیایی و خصوصیات فیزیکی سورفاکتانت‌های غیریونی مورد استفاده در تولید نانوامولسیون

سورفاکتانت غیریونی	فرمول مولکولی	ساختار شیمیایی	عدد HIB	وزن مولکولی (گرم/مول)
توین ۶۰	$C_{64}H_{124}O_{26}$	پلی‌اکسی‌اتیلن-۶۰-سوربیتان مونولورئات	۱۶/۷	۱۲۳۷/۵۱
توین ۸۰	$C_{64}H_{124}O_{26}$	پلی‌اکسی‌اتیلن-۶۰-سوربیتان مونواولئات	۱۵	۱۳۰۹/۶۵
توین ۸۵	$C_{100}H_{188}O_{28}$	پلی‌اکسی‌اتیلن-۶۰-سوربیتان تری‌اولئات	۱۱	۱۸۳۸/۵۴

HLB: نشانگر نسبت هیدروفیل به لیپوفیل سورفاکتانت و معیار اندازه‌گیری درجهٔ هیدروفیلی آن است.

تأثیر ترکیب فاز روغنی روی اندازهٔ قطره‌های نانوامولسیون‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر فاز روغنی بر تولید قطره‌های ریز نانوامولسیونی با به‌کارگیری فرمولاسیون بهینه از نانوامولسیون (درصد بهینه از سورفاکتانت در امولسیون و سورفاکتانت هیدروفیل بهینه)، از فازهای روغنی میگلیول ۸۱۲، روغن ذرت و غلظت‌های مختلف ویتامین D و A استفاده شد.

پتانسیل زتا

برای مشخص‌شدن نحوهٔ عمل نیروهای دافعهٔ الکتروستاتیک بین قطره‌های نانوامولسیون و میزان پایداری سیستم حاصل از نتایج تحرک الکتروفورتیک و پتانسیل زتا با استفاده از دستگاه زتاسایزر (Nano-ZS، Malvern، ساخت انگلستان) در طی ۹۰ روز نگهداری استفاده شد. برای‌این‌منظور، هریک از نمونه‌ها ابتدا با استفاده از آب‌مقطر ۱۰ برابر رقیق شدند. سپس نمونه‌ها توسط سرنگی داخل لولهٔ موئین منتقل و لولهٔ موئین در محل مخصوص در داخل دستگاه قرار گرفت. اندازه‌گیری پتانسیل زتا در ۷/۴ =pHو در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و توان ۱۴۹ وات انجام شد (Fatouros & Antimisiaris, 2002).

مورفولوژی نانوامولسیون با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM[1])

نمونهٔ نانوامولسیون بهینه با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) (Leo 906، مدل Zeiss 100 KV، ساخت آلمان) تصویربرداری شد (Klang *et al*., 2012).

تعیین پایداری نانوامولسیون

پایداری بلندمدت نانوامولسیون بهینهٔ تولیدشده با اندازه‌گیری تغییرات در اندازهٔ قطره‌های آن و همچنین ظاهر در طی نگهداری در دمای آزمایشگاه (تقریباً دمای ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد) به‌مدت ۳ماه بررسی شد (Yang *et al.,* 2013). آزمون‌ها شامل اندازه‌گیری پایداری نانوامولسیون‌های آزمایشی با اندازه‌گیری میانگین اندازهٔ ذرات میزان کدورت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر ماورای‌بنفش-مرئی (مدل ۲۰۰۰، Ultraspec، ساخت انگلستان) در طول موج ۶۰۰ نانومتر با رقیق‌سازی نمونه به‌وسیلهٔ بافر فسفات (pH=۷) تا غلظت‌های روغن ۰/۱۵، ۰/۱۰، ۰/۰۷و ۰/۰۳ درصد بود (Gonnet *et al*., 2010).

اندازه‌گیری خواص رئولوژیکی پایا

خصوصیات جریان‌پذیری فرمولاسیون بهینهٔ نانوامولسیون در مقدار ۱۰ گرم آب، در دمای محیط توسط رئومتر Anton Paar Physica (مدل MCR 301، ساخت اتریش) مجهز به استوانه‌های هم‌مرکز (Concentric cylinder geometry, CC27) ارزیابی شد. مقادیر تنش برشی و ویسکوزیته به‌صورت تابعی از سرعت برشی (۱۰۰-۰/۰۱ در ثانیه) برای تعیین رفتار جریانی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. آزمون پایا در محدودهٔ نرخ برش ۰/۰۱ تا ۱۰۰ بر ثانیه انجام شد (Yang *et al*., 2012).

طرح آماری

طرح آماری آزمایش براساس آزمون فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی اپتیمم‌سازی[2] و با ۳ تکرار انجام پذیرفت. برای تحلیل داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون مقایسهٔ میانگین‌های دانکن در

[1] Transmission Electron Microscopy

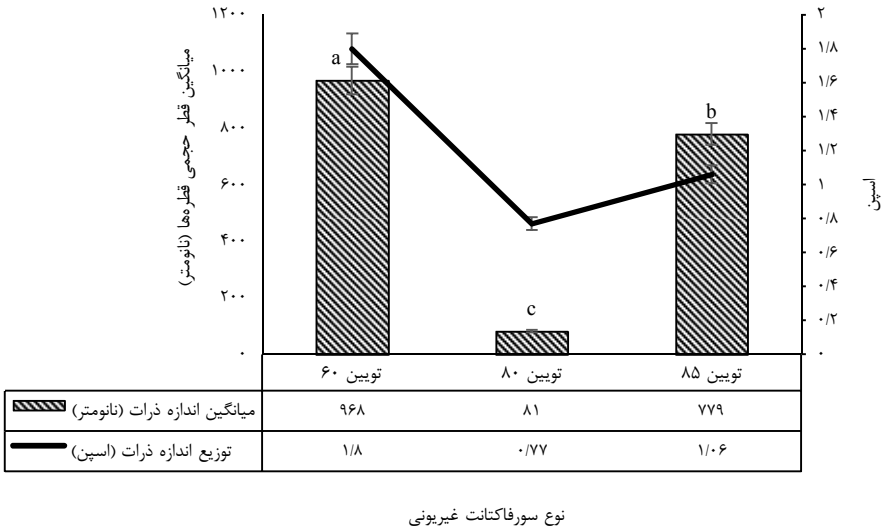
[2] Optimazation

سطح ۵ درصد و نرم‌افزار آماری SPSS نسخهٔ ۱۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر نوع سورفاکتانت بر اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌ها

اثر نوع سورفاکتانت بر اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌های نانوامولسیون با تهیهٔ یکسری از امولسیون‌ها با ترکیب ثابت فاز روغن حامل (۱ گرم حاوی ۵ درصد ویتامین A و D + ۹۵ درصد میگلیول ۸۱۲) و با استفاده از SER ۱۷/۵ درصد و با انواع متفاوت سورفاکتانت (تویین ۶۰، ۸۰ و ۸۵) بررسی شد (شکل ۱). با استفاده از تویین ۸۵ و ۶۰ اندازهٔ قطره‌ها بیش از ۷۰۰ نانومتر به‌دست‌آمد، همچنین توزیع اندازهٔ ذرات وسیع و گسترده بود که نشان از عدم یکنواختی در اندازهٔ قطره‌ها و تک‌مدبودن پراکنش قطره‌هاست. با استفاده از تویین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت غیریونی، اندازهٔ قطره‌ها در حد نانومتر (۸۱ نانومتر) با توزیع یکنواخت باریک و تک‌مد به‌دست‌آمد. از این سورفاکتانت به‌عنوان سورفاکتانت بهینه در سایر آزمایش‌ها استفاده شد.



شکل ۱ - تأثیر نوع سورفاکتانت بر اندازهٔ قطره‌ها (span) در نانوامولسیون‌های تهیه‌شده با استفاده از فاز روغنی میگلیول ۸۱۲ حاوی ۵ درصد ویتامین A و D و غلظت سورفاکتانت یونی (SER) ۱۷/۵ درصد، در دمای ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد

انتخاب امولسیفایر مناسب یا ترکیبی از امولسیفایرها یکی از مهم‌ترین فاکتورها در طراحی فرمولاسیون امولسیون است و می‌توان با به‌کارگیری استراتژی‌های مختلف، اعم از اضافه‌کردن ممانعت‌کننده‌های رسیدگی استوالد و نیز تغییردادن امولسیفایر، از ادغام قطره‌ها ممانعت کرد (نیک‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲). در این پژوهش نوع سورفاکتانت‌های غیریونی استفاده‌شده تأثیر قابل توجهی روی متوسط قطر قطره‌ها و توزیع اندازهٔ آنها در سیستم‌های تشکیل‌شده داشت. بررسی ساختار مولکولی سورفاکتانت‌ها، وجود تفاوت در زنجیرهٔ آب‌گریز آنها را نشان می‌دهد (جدول ۱). تویین ۶۰، ۱ دم مونولورات[1] ($C_{۱۲}$=۰)، تویین ۸۰، ۱ دم مونواولئات[2] ($C_{۱۸}$=۱) و تویین ۸۵، ۱ دم تری‌اولئات[3] (۳×$C_{۱۸}$=۱) دارد (Ostertag *et al*., 2012). تویین ۸۰ با HLB برابر ۱۵ کوچک‌ترین قطره‌ها را تولید کرد، درحالی‌که با استفاده از $T_{۶۰}$ با HLB برابر ۱۶/۷ (که نشان‌دهندهٔ بالاتربودن درجهٔ هیدروفیلی آن است)، قطره‌های درشت‌تری تولید شد. در ساختار زنجیرهٔ آب‌گریز تویین ۸۰ پیوند دوگانه از استراولئات وجود دارد که سبب تحرک بیشتر آن نسبت به تویین‌هایی با زنجیرهٔ اشباع مانند تویین ۶۰ می‌شود (Guttoff *et al.*, 2015). تویین‌هایی با وزن مولکولی بالا (مانند تویین ۸۵) نیز که سرعت حرکت سورفاکتانت از فاز آلی به

[1] Mono Lurat

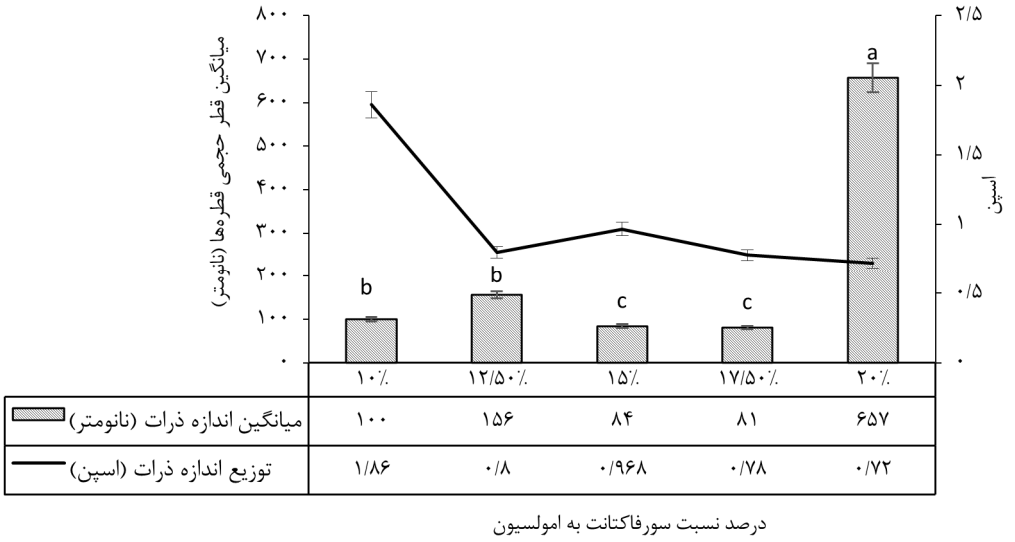
[2] Mono Oleat

[3] Tri Oleat

آبی را کاهش می‌دهند، خاصیت امولسیفایری ضعیفی از خود نشان می‌دهند (پزشکی و همکاران، ۱۳۹۴). مشابه با نتیجهٔ به‌دست‌آمده در این تحقیق، پزشکی و همکاران (۱۳۹۴) در تولید نانوامولسیون حاوی ویتامین A پالمیتات، .Guttoff و همکاران (۲۰۱۵) در تولید نانوامولسیون حاوی ویتامین D، Saberi و همکاران (۲۰۱۳) در تولید نانوامولسیون حاوی ویتامین E، حسنی (۱۳۹۴) در تولید نانوامولسیون حاوی بتاکاروتن و فامیان (۱۳۹۵) در تولید نانوامولسیون حاوی کنژوگه لینولئیک‌اسید، نتایج مشابه با اندازهٔ قطره‌ها زیر ۱۰۰ نانومتر با تولید امولسیون به روش تشکیل خودبه‌خودی و استفاده از توین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت غیریونی هیدروفیل، گزارش کردند.

اثر غلظت سورفاکتانت بر اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌ها

اثر غلظت سورفاکتانت بر اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌های نانوامولسیون با تهیهٔ تعدادی از امولسیون‌ها با ترکیب ثابت فاز روغن حامل (۱ گرم حاوی ۵ درصد (۰/۰۵ گرم) مخلوط ویتامین A و D + ۹۵ درصد (۰/۹۵ گرم) میگلیول) و با استفاده از سورفاکتانت غیریونی توین ۸۰، اما با نسبت‌های متفاوت میزان سورفاکتانت به امولسیون (SER) بررسی شد (شکل ۲). مقایسهٔ میانگین‌ها به روش دانکن در سطح ۵ درصد، اثر غلظت‌های مختلف سورفاکتانت بر اندازهٔ قطره‌ها را معنی‌دار نشان داد. باوجوداینکه میانگین قطری اندازهٔ قطره‌ها در SER ۱۰ درصد برابر ۱۰۰ نانومتر بود ولی توزیع اندازهٔ قطره‌ها وسیع و دومد[1] بود. با افزایش غلظت سورفاکتانت در سیستم یعنی SERهای ۱۵ و ۱۷/۵ درصد اندازهٔ قطره‌ها زیر ۱۰۰ نانومتر به‌دست‌آمد که تقریباً اندازهٔ مشابهی داشتند، با این تفاوت که توزیع اندازهٔ قطره‌ها در SER ۱۵ درصد ، دومد بود. درحالی‌که توزیع اندازهٔ قطره‌ها در SER ۱۷/۵ درصد، تک‌مد[2] بود. با افزایش غلظت سورفاکتانت تا ۲۰ درصد اندازهٔ قطره‌ها به بیشتر از ۶۰۰ نانومتر رسید. مکانیسم این اثر را می‌توان در افزایش ویسکوزیتهٔ سطح و ایجاد مشکل در انتقال سورفاکتانت به داخل فاز آبی و در ادامه مشکل در متصل‌شدن آن به لایهٔ بین‌سطحی روغن–آب دانست (جدول ۲).



شکل ۲- تأثیر غلظت سورفاکتانت به امولسیون بر اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌ها (span) در نانوامولسیون‌های تهیه‌شده با استفاده از فاز روغنی میگلیول ۸۱۲ حاوی ۵ درصد ویتامین A و D و سورفاکتانت غیریونی توین ۸۰ در دمای ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد

[1] Bimodal
[2] Monomodal

جدول ۲- مقدار اجزاء مورد استفاده در تولید فرمولاسیون‌های مختلف نانوامولسیون با تغییر غلظت سورفاکتانت

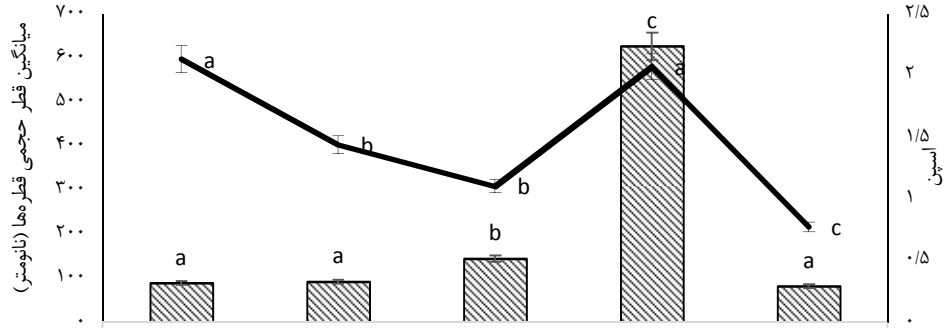
فرمولاسیون	سورفاکتانت (گرم)	روغن حامل (گرم)	گرم آب	میانگین قطر حجمی (نانومتر)	میانگین پراکنش قطره‌ها (span)
SER ۱۰ درصد	۱	۱ (ثابت)	۸	۱۰۰	۱/۸۶
SER ۱۲/۵ درصد	۱/۲۵	۱ (ثابت)	۷/۷۵	۱۵۶	۰/۸
SER ۱۵ درصد	۱/۵	۱ (ثابت)	۷/۵	۸۴	۰/۹۶۸
SER ۱۷/۵ درصد	۱/۷۵	۱ (ثابت)	۷/۲۵	۸۱	۰/۷۸
SER ۲۰ درصد	۲	۱ (ثابت)	۷	۶۵۷	۰/۷۲

در تهیهٔ نانوامولسیون ترکیب اجزاء و نسبت سورفاکتانت به امولسیون (SER) بر توزیع اندازهٔ ذرات تأثیرگذار است (Komaiko & McClements, 2014). اگر غلظت امولسیفایر در سیستم برای پوشاندن کامل لایهٔ بین‌سطحی روغن-آب کم باشد، درهم‌آمیختن و تجمع قطره‌ها رخ می‌دهد. دلیل کاهش اندازهٔ قطره‌ها با افزایش غلظت سورفاکتانت را می‌توان در افزایش جذب مولکول‌های سورفاکتانت به سطح روغن-آب و درنتیجه کاهش بیشتر کشش سطحی بیان نمود. همچنین افزایش غلظت سورفاکتانت موجب می‌شود تا تعداد مولکول‌های بیشتری از سورفاکتانت از فاز روغنی به فاز آبی پخش شوند و تولید قطره‌ها ریزامولسیون آسان‌تر گردد (Saberi *et al*., 2013; Guttoff *et al.*, 2015). مساح و همکاران (۱۳۹۲) نیز در تحقیق خود روی تولید نانوامولسیون حاوی ویتامین E گزارش کردند در غلظت‌های بالاتر سورفاکتانت (SER ۱۶/۵ درصد) اندازهٔ قطره‌ها کاهش می‌یابد بااین‌حال اندازهٔ قطره‌ها در بالاتر از یک سطح مشخص سورفاکتانت افزایش می‌یابد و با افزایش بیشتر غلظت سورفاکتانت، برخلاف انتظار، در این تحقیق افزایش در قطر و توزیع اندازهٔ قطره‌ها مشاهده شد که در مطالعه‌های دیگر نیز گزارش شده است (پزشکی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مساح و همکاران، ۱۳۹۲؛ نیک‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲؛ Najafi-Taher & Amani, 2017). Saberi و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند با افزایش غلظت سورفاکتانت از حد آستانه، فاز کریستالی ویسکوزی به‌وجود می‌آید که شکست خودبه‌خودی دیوارهٔ سطح روغن-آب را جهت جوانه‌زنی مشکل می‌سازد. در پژوهشی که آنها روی تولید نانوامولسیون ویتامین E استات به‌همراه میگلیول در حضور توبین ۸۰ به‌عنوان ترکیب فعال سطحی با روش خودبه‌خودی انجام دادند، مشاهده کردند وقتی غلظت سورفاکتانت از ۱۰ درصد به ۱۷/۵ درصد افزایش داده شد، اندازهٔ قطره‌ها از حدود ۵۵ نانومتر به ۱۶۰ نانومتر تغییر یافت. دلیل افزایش اندازهٔ ذرات را می‌توان به این علت دانست که با واردشدن نیروی برشی در راستای سطح روغن-آب پوشانده‌شده با امولسیفایر، مولکول‌های امولسیفایر از محلی که امولسیفایر زیادی در آنجا وجود دارد و باتوجه‌به لایه‌های زیاد سورفاکتانت در آن محل، به موازات لایهٔ بین‌سطحی کشیده می‌شوند و تعدادی از آنها از لایهٔ بین‌سطحی جدا می‌شوند و این ناحیه امکان خالی‌شدن از سورفاکتانت را دارد. زمانی که قطره‌ها به هم برخورد می‌کنند اگر این مناطق خالی از امولسیفایر، به اندازهٔ کافی به هم نزدیک شوند، می‌توانند با هم ادغام‌شده و قطر قطره‌ها افزایش یابد. این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که سرعت جذب امولسیفایر کمتر از طول مدت زمانی که تنش اعمال می‌شود، باشد و نیز سرعت برخورد قطره‌ها بیشتر از سرعت جذب امولسیفایر به لایهٔ بین‌سطحی باشد (McClements, 2005). دلیل دیگری را که می‌توان علت افزایش اندازهٔ قطره‌ها در غلظت‌های بالای سورفاکتانت دانست انبوهش ناشی از خالی‌شدن است. با افزایش زیاد غلظت سورفاکتانت، بخشی از آنها به‌جای قرارگرفتن در سطح، در توده قرار می‌گیرند و میسل‌های سورفاکتانت تشکیل می‌شود که باعث افزایش فشار اسمزی محلی در سیستم می‌شود. درنتیجه فاز پیوستهٔ بین قطره‌ها به این مکان منتقل می‌گردد و موجب انبوهش (فلاکولاسیون[1])، ناشی از خالی‌شدن فاز پیوسته بین ۲ قطره می‌گردد (قنبرزاده، ۱۳۸۶). Wulff-Perez و همکاران (۲۰۰۹) نیز ناپایدارشدن نانوامولسیون‌ها در بالاتر از یک غلظت سورفاکتانت را به مکانیسم خالی‌شدن-فلاکولاسیون[2] میسل‌های سورفاکتانت جذب‌شده مرتبط دانستند.

[1] Flocculation
[2] Depletion-flocculation

اثر نوع فاز روغنی حامل بر اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌ها

با انجام آزمایش‌های قبلی، SER ۱۷/۵ درصد به‌عنوان غلظت بهینهٔ سورفاکتانت و توین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت غیریونی هیدروفیل شناخته شد. به‌منظور بررسی تأثیر فاز روغنی از انواع روغن‌ها (میگلیول ۸۱۲، روغن ذرت و غلظت‌های مختلف ویتامین D و A) استفاده شد تا بهترین فاز روغنی در تولید قطره‌های نانو با توزیع یکنواخت گردد (شکل ۳). همان‌طورکه مشخص است استفاده از روغن حامل میگلیول با حصول اندازهٔ قطره‌ها در مقیاس نانو و پراکنش باریک، نسبت به سایر فرمولاسیون‌ها بهتر بوده و فرمولاسیون نانوامولسیون با مشخصات SER ۱۷/۵ درصد، توین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت فاز آبی و میگلیول ۸۱۲ به‌عنوان فاز روغنی حامل حاوی ۵ درصد ویتامین A و D به‌عنوان فرمولاسیون بهینه برای انجام سایر آزمایش‌ها (مورفولوژی، پتانسیل زتا، کدورت و رئولوژی) و تست پایداری انتخاب شد.



	۲:۱ ویتامین (آ و د)	۱:۲ ویتامین (آ و د)	۱:۱ ویتامین (آ و د)	روغن ذرت	میگلیول
میانگین اندازه ذرات (نانومتر)	۸۸	۹۱	۱۴۴	۶۲۵	۸۱
توزیع اندازه ذرات (اسپن)	۲/۱۳	۱/۴۳	۱/۱	۲/۰۷	۰/۷۷

نوع فاز روغنی حامل

شکل ۳- تأثیر نوع فاز روغنی حامل حاوی ۵ درصد ویتامین A و D بر اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌ها در نانوامولسیون‌های تهیه‌شده با استفاده از توین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت غلظت سورفاکتانت به امولسیون ۱۷/۵ درصد، در دمای ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد

میگلیول یک مارک تجاری برای بخش‌های تقطیرشدهٔ گوناگون از روغن نارگیل است. میگلیول ۸۱۲ مایع بی‌رنگ مایل به زرد روشن ، متشکل از ۵۵ درصد تری‌گلیسیرید با اسید چرب ۸ کربنه و ۴۵ درصد تری‌گلیسیرید با اسید چرب ۱۰ کربنه است. دانسیته و ویسکوزیتهٔ این روغن در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد، به‌ترتیب ۹۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و ۳۰ میلی‌پاسکال در ثانیه است. در طی نگهداری تجزیه نمی‌شود و هیچ واکنش خطرناکی هم برای آن معرفی نشده است (پزشکی و همکاران، ۱۳۹۴).

تشکیل، پایداری و خصوصیات نانوامولسیون‌ها اغلب به خصوصیات فیزیکوشیمایی توده‌ای فاز روغن (قطبیت، حلالیت در آب، کشش سطحی، اندیس رفراکتیو، ویسکوزیته، رفتار فازی و پایداری) بستگی دارد. اگرچه تعدادی از روغن‌های خوراکی برای تولید نانوامولسیون با قطره‌های ریز مناسب هستند، ولی این روغن‌ها از پایداری اندکی برخوردارند. برای مثال روغن‌های اسانسی قطبیت نسبتاً بالا، کشش بین‌سطحی و ویسکوزیتهٔ پایینی دارند که تمام این مشخصات برای تولید نانوامولسیون با روش‌های انرژی بالا مناسب است؛ در کاربردهای غذایی معمولاً از تری‌آسیل گلیسرول‌ها مانند روغن ذرت، سویا، آفتاب‌گردان، زیتون، بذر کتان و روغن ماهی که هم از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌اند و هم به فراوانی یافت می‌شوند، استفاده می‌شود. اکثر این روغن‌ها عمدتاً از تری‌آسیل گلیسرول‌های بلندزنجیر (LCT)[1] تشکیل شده‌اند. سایر تری‌آسیل گلیسرول‌ها با زنجیر متوسط (MCT)[2] و کوتاه‌زنجیر (SCT)[3] نیز در صنایع غذایی استفاده می‌شوند که البته به‌علت ویسکوزیتهٔ بالا، قطبیت بسیار پایین و کشش بین‌سطحی پایین، تولید نانوامولسیون‌ها با آنها دشوار است؛ بااین‌وجود

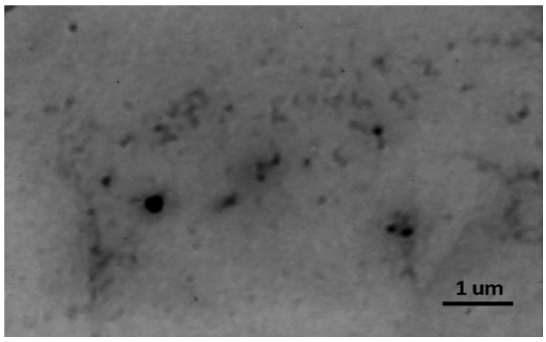
[1] Long-chain Triacylglycerols
[2] Medium-chain Triacylglycerols
[3] Short-chain Triacylglycerols

نانوامولسیون‌های تولیدشده با روغن‌های LCT و MCT، از پایداری فیزیکی بسیار بالایی برخوردار هستند (حسنی، ۱۳۹۴). ویسکوزیتهٔ روغن بر سرعت مولکول‌های سورفاکتانت غیریونی، در حرکت از فاز آلی به فاز آبی، مؤثر است و می‌توان انتظار داشت با کاهش ویسکوزیتهٔ روغن، مولکول‌های سورفاکتانت سریع‌تر حرکت کرده و بنابراین، قطره‌های کوچک‌تر تولید شود (Najafi-Taher & Amani, 2017). همچنین کاهش کشش بین‌سطحی باعث تحرک بیشتر بین‌سطح شده و تشکیل قطره‌های ریز محتمل‌تر می‌شود؛ علاوه‌بر این کشش بین‌سطحی می‌تواند تخریب قطره‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهد (Yang *et al.*, 2013).

در تحقیق صورت‌گرفته توسط Saberi و همکاران (۲۰۱۳) ترکیب فاز روغنی (نسبت ویتامین E به MCT) تأثیر زیادی روی سایز قطره‌ها داشت. تعیین نسبت قسمت هیدروفیل به لیپوفیل (HLD)[1] معیاری جهت تعیین تمایل نسبی سورفاکتانت به فازهای هیدروفیل و لیپوفیل است و خصوصیات فاز روغن (مانند نوع روغن)، نوع فاز آبی (مانند حضور نمک و الکل) و نیز فاکتورهای محیطی (مانند دما) بر تمایل نسبی مولکول‌های سورفاکتانت به فاز روغن و آب تأثیرگذار است (Rao & McClements, 2012). خواص مخلوط‌های سورفاکتانت-روغن-آب، در اندازهٔ قطره‌های حاصل‌شده مهم‌تر از ویژگی‌های روغن خالص است. خصوصیات فاز روغن (مانند نوع روغن)، نوع فاز آبی (مانند حضور نمک و الکل) و نیز فاکتورهای محیطی (مانند دما) روی تمایل نسبی مولکول‌های سورفاکتانت به فاز روغن و آب مؤثر هستند؛ بنابراین، تغییر در ماهیت فاز روغن می‌تواند ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سورفاکتانت را تغییر دهد. همان‌طورکه کشش سورفاکتانت به فاز آبی به صفر میل کند، کشش بین‌سطحی روغن-آب در سیستم سورفاکتانت-روغن-آب کاهش می‌یابد و تشکیل خودبه‌خودی قطره‌های ریز روغن آسان می‌شود (Salager *et al.*, 2004).

مورفولوژی قطره‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

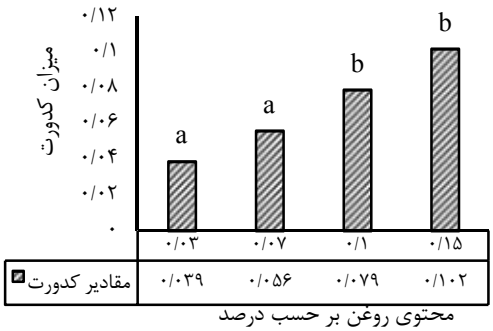
تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، قطره‌های کروی‌شکل در سیستم نانوامولسیون بهینه، بدون رخ‌دادن تجمع و انبوهش و همچنین جدایی فاز، در اندازهٔ نانو را نشان داد که تأییدی بر نتایج به‌دست‌آمده از دستگاه اندازه‌گیری ذرات بود (شکل ۴).



شکل ۴- تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سیستم نانوامولسیون بهینه (SER ۱۷/۵ درصد، توین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت غیریونی و میگلیول ۸۱۲ به‌عنوان فاز روغنی حامل حاوی ۵ درصد ویتامین A و D)

بررسی ویژگی‌های نوری و کدورت سیستم نانوامولسیون

نتایج مربوط به ویژگی‌های نوری فرمولاسیون بهینهٔ نانوامولسیون در ایجاد کدورت محلول‌های آبی، با اندازه‌گیری جذب نور در طول موج ۶۰۰ نانومتر تا ۴ سطح متفاوت مقدار روغن (۰/۱۵، ۰/۱۰، ۰/۰۷ و ۰/۰۳) در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان داد ارتباط خطی میان جذب و محتوای روغن برای نمونهٔ مطالعه‌شده وجود دارد.



شکل ۵- بررسی میزان کدورت فرمولاسیون نانوامولسیون بهینه

حروف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم وجود اختلاف معنی‌دار در ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

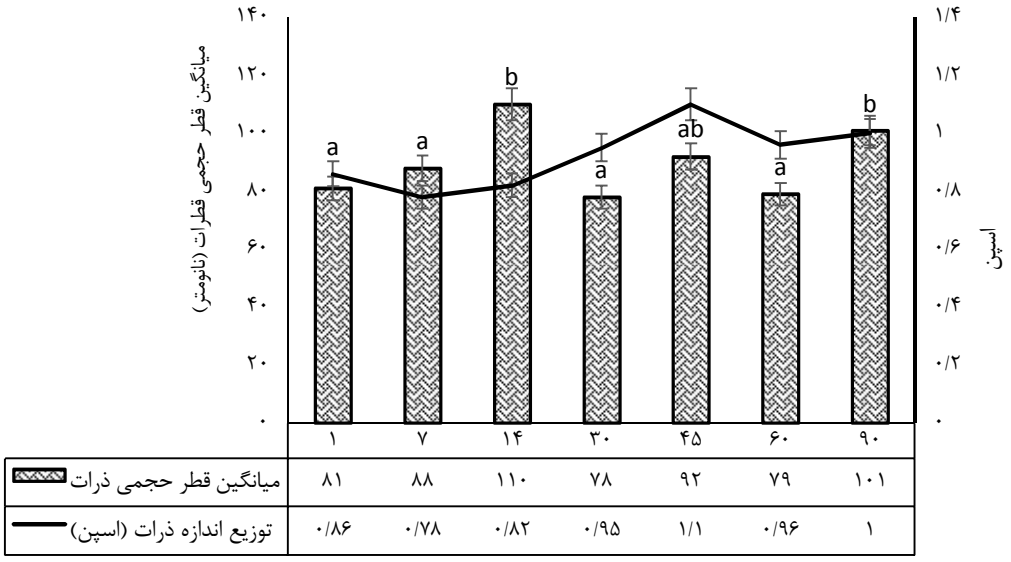
[1] Hydrophil- Lipophil- Deviation

پتانسیل زتای نمونه‌های نانوامولسیون با فرمولاسیون SER ۱۰ و ۱۷/۵ درصد

پتانسیل زتا معیاری از بار کلی روی سطح ذرات است، هر اندازه بارهای هم‌نام روی سطح قطره‌ها و ذرات موجود در سیستم بیشتر باشد، نیروی دافعهٔ بین آنها بیشتر می‌شود. سیستم SER ۱۰ درصد دارای پتانسیل زتای ۳/۳۲- و سیستم SER ۱۷/۵ درصد دارای پتانسیل زتای ۲۷/۹- است. سطح ذرات و قطره‌ها در سیستم‌های کلوئیدی، به‌دلیل ماهیت ذاتی و یا جذب لایهٔ سورفاکتانت یونی، دارای بار الکتریکی است. بار الکتریکی قطره‌ها به عواملی چون نوع و غلظت سورفاکتانت مورد استفاده روی سطح قطره‌ها و شرایط محیطی (pH، دما و قدرت یونی) بستگی دارد. افزایش غلظت و ظرفیت الکترولیت‌ها (بیشتر یون‌های نمکی) و ترکیبات باردار یونیزهٔ موجود در محیط باعث افزایش قدرت یونی محیط می‌شود که این افزایش، باعث کاهش نیروی‌های دفعی الکترواستاتیک و درنتیجه باعث افزایش ناپایداری می‌شود و احتمال انبوهش قطره‌ها افزایش می‌یابد.

پایداری اندازهٔ قطره‌های فرمولاسیون نانوامولسیون بهینه در طی مدت ماندگاری ۹۰ روز

همان‌طورکه در شکل (۶) مشخص است بین روزهای مختلف نگهداری تفاوت معنی‌داری در اندازه و پراکنش اندازهٔ قطره‌های فرمولاسیون بهینه مشاهده نشد و همواره قطره‌ها در اندازهٔ نانو بودند.



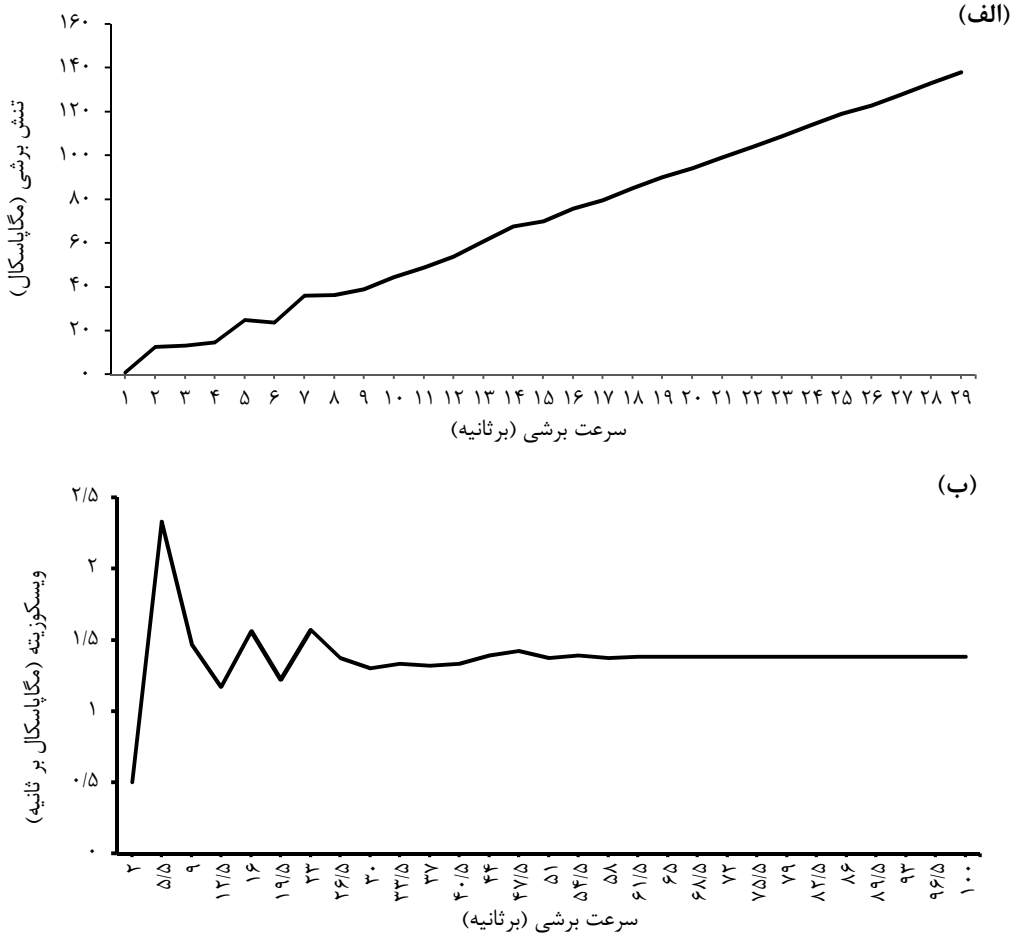
شکل ۶- اندازه و توزیع اندازهٔ ذرات فرمولاسیون بهینهٔ نانوامولسیون (SER ۱۷/۵ درصد، توین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت و میگلیول ۸۱۲ به‌عنوان فاز روغنی حامل حاوی ۵ درصد ویتامین A و D) در طی مدت نگهداری (روزهای ۱، ۷، ۱۴، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰پس از تولید)

پایداری امولسیون‌ها (سنتیکی یا ترمودینامیکی) بسیار مهم بوده و مهم‌ترین روش برای پایدارکردن امولسیون‌ها، ازطریق جذب سورفاکتانت در سطح بین ذرات و محیط دیسپرسیون و کاهش کشش بین‌سطحی است. پایداری سیستم نانوامولسیون تولیدی در این تحقیق نسبت به تفکیک گرانشی هم می‌تواند به اندازهٔ کوچک قطره‌ها نسبت داده شود، زیرا سرعت خامه‌بستن یک قطرهٔ لیپیدی با افزایش شعاع قطره افزایش می‌یابد (Yang *et al.*, 2012). در رسیدگی استوالد، مولکول‌های روغن از قطره‌های کوچک، ازطریق فاز آبی به قطره‌های درشت‌تر انتشار می‌یابند. به‌این‌ترتیب قطره‌های کوچک، کوچک‌تر و قطره‌های بزرگ، بزرگ‌تر می‌شوند و به‌تدریج در طول زمان، اندازهٔ متوسط قطره‌ها در امولسیون یا نانوامولسیون افزایش می‌یابد. در عمل مهم‌ترین عاملی که پایداری نانوامولسیون به رسیدگی استوالد را تعیین می‌کند، حلالیت روغن در فاز آبی است (McClements, 2005). اگر نانوامولسیون با روغن‌هایی تولید شود که عمدتاً متشکل از تری‌آسیل گلیسرول‌های زنجیرکوتاه باشد، نسبت به رسیدگی استوالد مقاوم نخواهد بود. با انتشار

مولکول‌های فاز پراکنده از قطره‌های ریز به درشت، به‌تدریج غلظت این ترکیبات درون قطره‌های ریز افزایش می‌یابد. (Ostertag *et al*., 2012). سرعت خامه‌بستن یک قطرهٔ لیپیدی با افزایش قطر قطره‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین امولسیون‌های حاوی قطره‌های بزرگ‌تر سریع‌تر ازآنهایی‌که حاوی قطره‌های کوچک‌تر هستند، خامه خواهند بست (McClements, 2005). درنتیجه نمونه‌هایی که حاوی قطره‌های بزرگ‌تر بوده‌اند و یا پس از گذشت زمان دچار افزایش در میانگین قطر قطره‌ها شده‌اند که این امر به احتمال زیاد متأثر از کاهش غلظت سورفاکتانت در آنهاست، می‌توانند نسبت به خامه‌بستن ناپایدار باشند.

خواص رئولوژیکی پایا در فرمولاسیون نانوامولسیون بهینه

ارتباط تنش برشی و ویسکوزیته به‌صورت تابعی از سرعت برشی، برای تعیین نوع رفتار جریانی نمونه‌ها در فاصلهٔ زمانی ۱۰ دقیقه و سرعت برشی (S^{-1}) ۱۰۰-۲ اندازه‌گیری شد. همان‌طورکه در شکل (۷) مشاهده می‌شود، بین تنش برشی و سرعت برشی رابطهٔ نسبتاً خطی وجود دارد و این رفتار نشان می‌دهد که محلول دارای ساده‌ترین رفتار جریانی، یعنی رفتار نزدیک به نیوتنی است. در این سیالات، شیب خط نمودار تنش برشی-سرعت برشی، ویسکوزیته را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که با افزایش ویسکوزیتهٔ محلول، شیب منحنی نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۷- نمودار تنش برشی-سرعت برشی (الف) و نمودار ویسکوزیته-سرعت برشی فرمولاسیون بهینهٔ نانوامولسیون (ب) (فرمولاسیون بر پایهٔ توبین ۸۰ به‌عنوان سورفاکتانت، میگلیول ۸۱۲ به‌عنوان روغن حامل ۵ درصد ویتامین A و D و غلظت سورفاکتانت ۱۷/۵ درصد)

باتوجه‌به شکل (۷) مشاهده می‌شود ویسکوزیته به سرعت برشی وابسته نیست و افزایش سرعت برشی، تأثیر چندانی بر ویسکوزیتهٔ نانوامولسیون تولیدی ندارد. باتوجه‌به نیوتنی‌بودن رفتار امولسیون تولیدی، می‌توان

به این نتیجه رسید که محلول فوق، محلولی رقیق بوده و هنوز به غلظت و کسر حجمی بحرانی نرسیده تا شاهد افزایش یکبارهٔ ویسکوزیته و ظهور رفتار سودوپلاستیک (روان‌شونده با برش) در آن باشیم. لخته‌شدن قطره‌ها در امولسیون می‌تواند علاوه‌بر افزایش اندازهٔ قطره‌ها، موجب افزایش ویسکوزیته در کسر حجمی ثابت گردد. چون، مقادیری از فاز پیوسته در بین قطره‌ها گیر می‌افتند. ضخامت و ساختار فیلم تشکیل‌شده توسط سورفاکتانت، در لایهٔ سطحی نیز می‌تواند در مقادیر ویسکوزیتهٔ امولسیون مؤثر باشد. رئولوژی امولسیون‌ها علاوه‌بر کسر حجمی فاز پراکنده، به عواملی نظیر رئولوژی فازهای تشکیل‌دهنده، اندازه و توزیع اندازهٔ قطره‌ها، برهم‌کنش بین قطره‌ها، میزان انبوهش (فلاکولاسیون) قطره‌ها، نوع و ضخامت لایهٔ سورفاکتانت و قدرت یونی فاز پیوسته نیز وابسته است (Najafi-Taher & Amani, 2017). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد نوع سورفاکتانت و نسبت آن به فاز پراکنده، تأثیر زیادی در ویسکوزیتهٔ نانوامولسیون دارد. در سرعت‌های برشی پایین، به‌دلیل تغییر شکل قطره‌ها و شکسته‌شدن پیوندهای ضعیف (هیدروژنی) و تفکیک قطره‌های انبوهش‌شده، ویسکوزیته به‌صورت ناگهانی کاهش می‌یابد. در سرعت‌های برشی بالاتر، ویسکوزیته به سرعت برشی وابسته نیست و با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته در تمام سرعت‌های اعمال‌شده، ثابت می‌ماند (نیک‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲). هر چقدر اندازهٔ ذرات (در کسر حجمی ثابت) کوچک‌تر باشد، ویسکوزیتهٔ سیستم بالاتر می‌شود. پتانسیل زتای بالاتر قطره‌ها نیز باعث افزایش کسر حجمی مؤثر و درنتیجه ویسکوزیتهٔ بیشتر می‌شود. در مقابل توزیع غیریکنواخت و گستردهٔ ذره (اسپن بالاتر) منجربه نزدیک‌شدن بیشتر ذرات به یکدیگر و درنتیجه ویسکوزیتهٔ پایین‌تر می‌گردد. همچنین با تشکیل لخته و ادغام ذرات (فلاکولاسیون)، سیال فاز پیوسته بیشتر گیرافتاده و کسر حجمی مؤثر افزایش می‌یابد، درنتیجه ویسکوزیته افزایش می‌یابد (پزشکی و همکاران، ۱۳۹۴).

در پژوهشی که نیک‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) روی تولید نانوامولسیون‌های حاوی ویتامین E انجام دادند، نیز رفتار نزدیک به رفتار نیوتنی در اکثر نمونه‌های حاوی سورفاکتانت ریزمولکول مشاهده شد و رفتار سودوپلاستیک بیشتر در امولسیون‌های با اندازهٔ قطره‌های بزرگ، لخته‌شده و غلیظ مشاهده شد. در واقع، کوچک‌بودن قطره‌ها، پایداری سیستم (عدم انبوهش وسیع) و پایین‌بودن کسر حجمی قطره‌ها، موجب نیوتنی‌بودن نانوامولسیون گردید.

نتیجه‌گیری

فاکتورهای فیزیکوشیمیایی مختلفی روی تولید، خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژی و پایداری قطره‌های امولسیون مؤثر بوده و ویژگی‌های آنها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. با استفاده از سورفاکتانت غیریونی توین ۸۰ و فاز روغنی میگلیول ۸۱۲، اندازهٔ قطره‌های زیر ۹۰ نانومتر به‌دست آمد. در غلظت‌های پایین SER نیز اندازهٔ قطره‌های بالاتر از ۱۰۰ نانومتر تولید شد و تولید بهینهٔ نانوامولسیون در غلظت‌های SER برابر با ۱۵ و ۱۷/۵ درصد با اندازهٔ قطره‌های زیر ۱۰۰ نانومتر انجام شد که غلظت ۱۷/۵ درصد با پراکنش بهتر ۰/۷۷، میانگین قطر قطره‌ها ۸۱ نانومتر و تک‌مدبودن نمودار توزیع قطره‌ها، به‌عنوان بهترین غلظت معرفی شد. نانوامولسیون بهینهٔ تولیدشده از نتایج پتانسیل زتا، کدورت و پایداری قابل‌قبولی طی ۳ ماه نگهداری برخوردار بود و حتی کاهش قطر قطره‌ها نیز مشاهده شد. فرمولاسیون بهینهٔ نانوامولسیون دارای رفتار نیوتنی بود.

منابع

۱- پزشکی، الف.، قنبرزاده، ب.، همیشه‌کار، ح.، مقدم، م. و فتح‌الهی، ع. ۱۳۹۴. تهیهٔ نانوامولسیون‌های حامل ویتامین A پالمیتات به روش خودبه‌خودی: بررسی تأثیر سورفکتانت و فاز روغنی بر اندازهٔ قطرات و پایداری. پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۴(۴): ۲۹۹-۳۱۴.

۲- حسنی، ف. ۱۳۹۴. تولید و بهینه‌سازی فرمولاسیون نانوامولسیون حاوی بتاکاروتن (به روش تشکیل خودبه‌خودی). پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد ممقان.

۳- فامیان، ح. ۱۳۹۵. غنی‌سازی شیر کم‌چرب پاستوریزه با استفاده از نانوامولسیون حاوی لینولئیک اسید کونژوگه (CLA). پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد ممقان.

۴- قنبرزاده، ب.، الماسی، ه. و نیک‌نیا، ن. ۱۳۹۲. شیمی و فیزیک سیستم‌های کلوئیدی و محلول‌های بیوپلیمری غذایی. مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

۵- مساح، م.، قنبرزاده، ب.، همیشه‌کار، ح. و صوتی‌خیابانی، م. ۱۳۹۲. بررسی اثر ترکیب فاز روغن در تولید نانوامولسیون‌های حاوی آلفاتوکوفرول با استفاده از روش کم‌انرژی. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۹-۷ آبان ماه، شیراز.

۶- نیک‌نیا، ن.، قنبرزاده ، ب.، همیشه‌کار، ح. و صوتی‌خیابانی، م. ۱۳۹۲. تهیه و ارزیابی نانوامولسیون خوراکی ویتامین E با روش خودبه‌خودی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۴(۸): ۶۵-۵۱.

7- Anton, N., & Vandamm, T. 2009. Low energy nano- emulsificasions: overview and potentials in microencapsulation, P. 1-4. XVII International Conference on Bioencapsulation, 24-26 September. 2009. Groningen, Netherland.

8- Champagne, C.P., & Fustier, P. 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. Current Opinion in Biotechnology, 18(2):184-190.

9- Davidov-Pardo, G., & McClements, D.J. 2014. Resveratrol encapsulation: designing delivery systems to overcome solubility, stability and bioavailability issues. Trends in Food Science & Technology, 38(2):88-103.

10- Fathi, M., Mozafari M.R., & Mohebbi, M. 2012. Nanoencapsulation of food ingredients using lipid based delivery systems. Trends in Food Science & Technology, 23(1):13-27.

11- Fatouros, D.G., & Antimisiaris, S.G. 2002. Effect of amphiphilic drugs on the stability and zeta-potential of their liposome formulations: a study with prednisolone, diazepam, and griseofulvin. Journal of Colloid and Interface Science, 251(2):271-277.

12- Ghanbarzadeh, B., Babazadeh, A., & Hamishekar, H. 2016. Nano-phytosome as a potential food-grade delivery system. Food Bioscience, 15:126-135.

13- Gonnet, M., Lethuaut, L., & Boury, F. 2010. New trends in encapsulation of liposoluble vitamins. Journal of Controlled Release, 146(3):276-290.

14- Guttoff, M., Saberi, A.H., & McClements, D.J. 2015. Formation of vitamin D nanoemulsion-based delivery systems by spontaneous emulsification: factors affecting particle size and stability. Food Chemistry, 171:117-122.

15- Klang, V., Matsko, N.B., Valenta, C., & Hofer, F. 2012. Electron microscopy of nanoemulsions: an essential tool for characterisation and stability assessment. Micron, 43(2-3):85-103.

16- Komaiko, J., & McClements, D.J. 2014. Optimization of isothermal low-energy nanoemulsion formation: Hydrocarbon oil, non-ionic surfactant, and water systems. Journal of Colloidal and Interface Science, 425:59-66.

17- Li, Y., Zheng, J., Xiao, H., & McClements, D.J. 2012. Nanoemulsion-based delivery systems for poorly water-soluble bioactive compounds: Influence of formulation parameters on polymethoxyflavone crystallization. Food Hydrocolloids, 27(2):517-528.

18- McClements, D.J. 2005. Food Emulsions: Principles, Practice and Technology. CRC Press: Boca Raton, Florida.

19- Najafi-Taher, R., & Amani, A. 2017. Nanoemulsions: colloidal topical delivery systems for antiacne agents- a mini-review. Nanomedicine Research Journal, 2(1):49-56.

20- Ostertag, T., Weiss, J., & McClements, D.J. 2012. Low-energy formation of edible nanoemulsions: factors influencing droplet size produced by emulsion phase inversion. Journal of Colloid and Interface Science, 388(1):95-102.

21- Rao, R., & McClements, D.J. 2012. Food-grade microemulsions and nanoemulsions: role of oil phase composition on formation and stability. Food Hydrocolloids, 29(2):326-334.

22- Saberi, A.H., Fang, Y., & McClements, D.J. 2013. Fabrication of vitamin E-enriched nanoemulsions: factors affecting particle size using spontaneous emulsification. Journal of Colloid and Interface Science, 391:95-102.

23- Salager, J.L., Forgiarini, A., Marquez, L., Pena, A., Pizzino, A., Rodriguez, M.P., & Rondon-Gonzalez, M. 2004. Using emulsion inversion in industrial processes. Advances in Colloid Interface Science, 108-109:259-272.

24- Silva, H.D., Cerqueira, M.A., & Vicente, A.A. 2012. Nanoemulsions for food applications: development and characterization. Food and Bioprocess Technology, 5(3):854-867.

25- Sood, S., & Gowthamarajan, KJ.K. 2014. Optimization of curcumin nanoemulsion for intranasal delivery using design of experiment and its toxicity assessment. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 113:330-337.

26- Wulff-Perez, M., Torcello-Gomez, A., Galvez-Ruiz, M.J., & Rodrıguez-Martin, A. 2009. Stability of emulsions for parenteral feeding: Preparation and characterization of o/w nanoemulsions with natural oils and Pluronic f68 as surfactant. Food Hydrocolloids, 23(4):1096-1102.

27- Yang, Y., Leser, M.E., Sher, A.A., & McClements, D.J. 2013. Formation and stability of emulsions using a natural small molecule surfactant: quillaja saponin (q-naturale®). Food Hydrocolloids, 30(2):589-596 .

28- Yang, Y., Marshall-Breton, C., Leser, M.E., Sher, A.A., & McClements, D.J. 2012. Fabrication of ultrafine edible emulsions: comparison of high-energy and low-energy homogenization methods. Food Hydrocolloids, 29(2):398-406.

Factors Affecting the Production and Stability of Optimal Formulation of Nanoemulsion Containing Vitamin A and D by Spontaneous Production

Akram Pezeshky Najafabadi[1*], Fattemeh sadat Hashemi[2], Afra Marandi[3], Khadije Gharedaghi[4], Seyed Hosein Jalali[5]

1- Assistant Professor of Department of Food Science and Technology, Taculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
* Corresponding author (akram.pezeshki@tabrizu.ac.ir)
2- Instructor of Department of Food Science and Technology of Samin Nan Sahar, Tehran, Iran
3-MS Graduated of Department of Food Science and Technology, Taculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Azad University of Shahriar, Shahrak Ghods, Tehran, Iran
5- Instructor of Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

Due to their unique functional properties, using nanoemulsions for the enrichment of many hydrophobic compounds in beverages is beneficial. In this study, vitamins A and D nano emulsions produced by spontaneous formation using various surfactants (tween 60, 80 and 85) and corn oil and miglyol 812 as carrier oils; various types of vitamins A and D (2:1, 1:1 and 1:2) and various surfactant emulsion ratios (SER). Measurement of the average diameter of the droplets, zeta potential, rheology, turbidity and stability of system during storage time were done. Analysis of the results by laser light dispersion in completely randomized design showed the particle size in formulation with SER=17.5%, using tween 80 and miglyol 812 including 5% vitamin A and D, was equal to 81 nm with -27.9 mv zeta potential was gained. The optimum sample was stable at a temperature of 23 °C during storage time (3 months). The images of the electron microscopy also confirmed the results of measuring the size of droplets by particle size analyzer. The study of the rheological behavior of optimum nano emulsion also indicated the Newtonian behavior and the non-dependence viscosity by shear-shear rates.

Keywords: Miglyol 812, Nanoemulsion, Stability, Tween, Vitamin A & D

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۲۸۰-۲۶۹

JRIFST

اثر آنزیم، زمان و دما بر برخی ویژگی‌های پروتئین هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا کپور علف‌خوار

آتنا رفعتی نیا[1]، لاله رومیانی[2*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- استادیار، گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
* نویسندهٔ مسئول (l.roomiani@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۲۸

واژه‌های کلیدی
آنزیم
امعاواحشا
پروتئین هیدرولیزشده
کپور علف‌خوار

چکیده

هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر آنزیم، زمان و دما بر ویژگی‌های پروتئین هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا کپور علف‌خوار (*Ctenopharyngodon idella*) بود. دو شاخص راندمان بازیافت و درجهٔ هیدرولیز پروتئین‌های حاصله و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سه زمان ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه و سه دمای ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و بین سه آنزیم آلکالاز، فلاورزایم و پپسین مورد مقایسه قرار گرفت. برای تمام آنزیم‌های مورد استفاده با افزایش زمان و دمای هیدرولیز میزان بازیافت پروتئینی، درجهٔ هیدرولیز و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت و بیشترین مقدار این دو شاخص برای هر سه آنزیم در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۶۰ دقیقه و کمترین آنها نیز در دمای ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه مشاهده گردید. در بین ۳ آنزیم مورد بررسی، آلکالاز در شرایط دمایی یکسان و در زمان‌های مختلف نسبت به آنزیم‌های پپسین و فلاورزایم دارای بازیافت پروتئینی و درجهٔ هیدرولیز و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری بود. آنزیم آلکالاز بیشترین بازیافت پروتئینی، درجهٔ هیدرولیز و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه (۰/۱۱±۵۴/۵۲ درصد) و کمترین مقدار این پارامترها را نیز در درجه‌حرارت ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه نشان داد. باتوجه‌به راندمان بازیافت، درجهٔ هیدرولیز و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم آلکالاز کارایی بالایی جهت تولید پروتئین هیدرولیزشده از ضایعات ماهی کپور علف‌خوار داشت.

مقدمه

صنعت غذا یکی از بزرگ‌ترین تجارت‌های جهان است. گام‌های رشد این صنعت آن‌قدر زیاد است که باتوجه‌به جمعیت روبه‌رشد جهان بسیار سریع‌تر نیز شده است. مصرف مواد غذایی توسط مردم جهان نه تنها از لحاظ امنیت، بلکه باید از لحاظ کیفیت و سلامت نیز مناسب باشد (Gan *et al*., 2010). براساس آمار رسمی سازمان خواروبار جهانی، میزان تولید سالانهٔ آبزیان، بالغ بر ۱۳۲ میلیون تن می‌باشد (Ovissipour *et al*., 2009). این میزان نسبتاً بالای صید جهانی و به‌دنبال آن صنایع عمل‌آوری، منجربه‌تولید حجم بالایی از مواد جانبی و غیرقابل استفاده گردیده که اکثراً بدون توجه به محیط‌زیست دورریخته می‌شوند (Bhaskar *et al*., 2008). ازآنجاکه تولیدکنندگان فراورده‌های دریایی به‌دلایل زیست‌محیطی قادر به دورریختن ضایعات خود به‌صورت مستقیم به دریا نمی‌باشند و برای

پالایش این مواد باید هزینهٔ زیادی را متحمل شوند، بنابراین یافتن یک روش مناسب به‌عنوان جایگزینی برای دورریختن این مواد امری ضروری است (Kristinsson & Rasco, 2000a).

ترکیب شیمیایی بدن ماهی از گونه‌ای به گونهٔ دیگر متفاوت است. اختلاف اصلی در ترکیب شیمیایی ماهی را باید درارتباطبا غذای دریافتی یا تغذیهٔ ماهی دانست که شامل آب، پروتئین، لیپید، کربوهیدرات، ویتامین و مواد معدنی است (Boziaris, 2014). در دههٔ ۱۹۶۰ تحقیق‌های زیادی برای دست‌یابی به منابع پروتئینی ارزان‌قیمت مغذی جهت تغذیهٔ جمعیت انسانی درحال‌رشد و نیز حیوانات صورت گرفت و دراین‌راستا توجه زیادی به ضایعات معطوف شد (Bhaskar *et al*., 2008). ازطرفی، شیوع جنون گاوی در سال‌های اخیر، محققین را بر آن داشته است که پروتئین‌های دریایی هیدرولیزشده را جایگزین پروتئین‌های حیوانی کرده و به مردم معرفی نمایند (Liaset *et al*., 2003). عمده‌ترین مواد جانبی صنایع عمل‌آوری آبزیان شامل امعاواحشا، پوست، فلس، ستون مهره و استخوان‌های تنه می‌باشد. امعاواحشا ماهیان یکی از مهم‌ترین ضایعات آنها و سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع و پروتئین می‌باشد (Bhaskar & Mahendrakar, 2008). پروتئین‌های هیدرولیزشدهٔ ماهیان، دارای کاربردهای وسیعی هستند، ازجمله مواد مناسب برای درمان سرطان محسوب می‌شوند. ازطرف‌دیگر به‌دلیل کوتاه‌بودن زنجیرهٔ پپتیدی، دارای قابلیت هضم بالاست و می‌توانند به‌عنوان مکمل پروتئینی در تغذیهٔ انسان، دام و آبزیان مورد استفاده قرار گیرند (Mahmoud, 1994). هدف اصلی هیدرولیز ضایعات ماهی به‌دست‌آوردن حداکثر بازیافت اجزاء قابل دسترس با حفظ کیفیت بالا (درجهٔ هیدرولیز و میزان پروتئین بالا) در آنهاست. آنزیم‌های مورد استفاده به‌منظور هیدرولیز آنزیمی، شامل آنزیم‌های گیاهی، جانوری و میکروبی می‌باشند. آنزیم‌های میکروبی در مقایسه با آنزیم‌های گیاهی و جانوری، دارای مزایای بیشتری هستند (Diniz & Martin, 1997). از مهم‌ترین فاکتورهای مورد بررسی خواص پروتئین‌های هیدرولیزشده، درجهٔ هیدرولیزاسیون می‌باشد که میزان شکسته‌شدن باندهای پپتیدی را بیان می‌کند و باید کنترل گردد. این فاکتور و کنترل آن بسیار مهم است، زیرا که بسیاری از خواص پروتئین هیدرولیزشده، ازجمله میزان اسیدهای آزاد، میزان انحلال‌پذیری و وزن مولکولی پروتئین تولیدشده، وابسته به شدت و درجهٔ هیدرولیزاسیون می‌باشد (Slizyte *et al*., 2005).

باتوجه‌به افزایش روزافزون جمعیت جهان، تأمین منابع پروتئینی بسیار حائز اهمیت می‌باشد، ازاین‌رو مطالعه‌های بسیاری روی روش‌های تولید پروتئین انجام‌شده و یا درحال‌انجام است که از آن جمله می‌توان به مطالعه‌های مهرگان‌نیکو و همکاران (۱۳۹۲) روی پروتئین هیدرولیزشدهٔ ماهی کاراس[1] و اثر متغیرهای دما، زمان و نسبت آنزیم به سوبسترا بر میزان درجهٔ هیدرولیز و فعالیت ضداکسایشی اشاره کرد که ثابت شد پروتئین هیدرولیزشدهٔ ماهی کاراس می‌تواند قابلیت کاربرد در فرمولاسیون مواد غذایی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان طبیعی داشته باشد. شعبانپور و همکاران (۱۳۹۶) روی اثر زمان هیدرولیز آنزیمی، درجه‌حرارت و نسبت آنزیم به سوبسترا روی خصوصیات آنتی‌اکسیدانی پپتیدهای زیست‌فعال حاصل از میگو کار کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین خصوصیت آنتی‌اکسیدانی در دمای ۵۴/۶ درجهٔ سانتی‌گراد و با درجهٔ هیدرولیز ۳۳/۵ درصد به‌دست آمد. همچنین مطالعه‌های اویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) روی بهینه‌سازی هیدرولیز آنزیمی پروتئین از امعاواحشا ماهی‌تُن زردباله[2] نشان داد که پروتئین هیدرولیزشده توسط آلکالاز به‌صورت معنی‌داری از لحاظ میزان پروتئین و درجهٔ هیدرولیزاسیون بالاتر از آنزیم‌های پروتامکس[3] و فلاورزایم[4] بود. بهینه‌سازی پروتئین هیدرولیزشده با فعالیت آنتی‌اکسیدانی از امعاواحشا ماهی‌تُن زردباله با آنزیم پروتامکس توسط پزشک و همکاران (۱۳۹۶) موردمطالعه قرار گرفت و ثابت شد آنچه بر پارامتر فعالیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر دارد ویژگی‌های ذاتی پروتئین هیدرولیزشده است. Bhaskar و

[1] *Carassius carassius*
[2] *Thunnus albacares*
[3] Protomax
[4] Flavourzyme

Mahendrakar (۲۰۰۸) بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز توسط یک پروتئاز تجاری خنثی از امعاواحشا ماهی کپور هندی[1] اشاره کرد. بنابراین باتوجه‌به پتانسیل بالای تولید پروتئین هیدرولیزشدهٔ آبزیان در کشور، رسیدن به این مهم ضروری می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر آنزیم، زمان و دما بر ویژگی‌های پروتئین هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا ماهی کپور علف‌خوار[2] بود. ماهی فوق یکی از مهم‌ترین گونه‌های پرورشی در ایران محسوب می‌شود که ۲۵ تا ۳۵ درصد تولید ماهیان گرمابی را به خود اختصاص می‌دهد. سازمان خواروبار جهانی گزارش کرد که از کل ۱۶۷/۲ میلیون تن تولید آبزی‌پروری، ۲۰/۹ میلیون تن مربوط به ضایعات آبزی‌پروری بوده است (FAO, 2018) که باتوجه‌به حجم عظیم این ضایعات می‌توان در صنعت غذا از آن بهره جست.

مواد و روش‌ها

ماهی کپور علف‌خوار با میانگین وزنی ۲ کیلوگرم در آبان ماه از بازار ماهی‌فروشان اهواز تهیه و با ظروف یونولیتی در کنار یخ به آزمایشگاه منتقل گردید. امعاواحشا ماهی جداشده شامل بخش‌های موجود در داخل شکم ماهی و با استفاده از یک میکسر صنعتی کاملاً چرخ و مقداری از نمونه‌های چرخ‌شده به‌منظور تعیین ترکیب شیمیایی (جهت تعیین میزان پروتئین اولیه) برداشته شد و مابقی در بسته‌های پلاستیکی به‌صورت ۵۰ گرمی که با ترازوی دیجیتال توزین‌شده بسته‌بندی گردید و در دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند.

هیدرولیز آنزیمی

به‌منظور هیدرولیز آنزیمی امعاواحشا ماهی کپور علف‌خوار از آنزیم‌های آلکالاز[3]، پپسین[4] و فلاورزایم[5] (شرکت نووزایم، دانمارک) استفاده شد. تمام آنزیم‌ها تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. تعیین فعالیت آنزیم‌ها با استفاده از روش AOAC (۲۰۰۲) انجام شد. ۵۰ گرم از نمونه درون ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به نسبت ۲:۱ به آن اضافه گردید و با همزن دیجیتالی (مدل ۷۰۰، ساخت ایران) به‌مدت ۲ دقیقه هموژنیزه و سپس ۲۰ دقیقه در بن‌ماری با حرارت ۸۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌منظور غیرفعال‌سازی آنزیم‌های داخلی قرار داده شد.

تولید پروتئین هیدرولیزشده

تولید پروتئین هیدرولیزشده به روش Ovissipour و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد. پس از خروج نمونه از یخچال و انجمادزدایی، ۵۰ گرم از نمونه‌ها درون ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و سپس میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به نسبت ۲:۱ به ارلن‌مایر اضافه گردید و با همزن دیجیتالی به مدت ۲ دقیقه هموژنیزه شد. سپس به مدت ۲۰ دقیقه در بن‌ماری با درجه‌حرارت ۸۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌منظور غیرفعال‌سازی آنزیم‌های داخلی قرار داده شد. امعاواحشا پخته‌شده با یک بافر سدیم فسفات، کاملاً مخلوط و pH با اضافه‌کردن هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰/۲ نرمال و توسط دستگاه pHمتر (مدل Metrohm 691، ساخت سوئیس) در محدودهٔ ۷ تا ۸/۵ کنترل شد. نمونه‌ها در دستگاه انکوباتور متحرک در دماهای ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد برای آزمایش مقایسهٔ بین آنزیم‌ها در دماهای ارائه‌شده، برای تولید پروتئین هیدرولیزشده با دور ثابت ۲۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد و پس از ۱۰ دقیقه که دمای نمونه‌ها به دمای موردنظر رسید آنزیم‌ها (۱ درصد میزان پروتئین) با میکروسمپلر و ترازوی دیجیتالی اضافه شدند و پس از هر نمونه‌گیری (زمان ۱۵ و ۳۰ دقیقه) و در پایان آزمایش (زمان ۶۰ دقیقه) به‌منظور قطع واکنش آنزیمی در حمام آبی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند. پروتئین‌های هیدرولیزشده طبق روش Krisstinson و Rasco (۲۰۰۰b) با استفاده از یخ، سرد شد و با استفاده از سانتریفیوژ با دور ۸۰۰۰ ×g در ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سوپرناتانت نمونه‌ها با استفاده از سرنگ جمع‌آوری شد و پروتئین هیدرولیزشده در فریزر نگهداری و سپس با

---

[1] *Catla catla*
[2] *Ctenopharyngodon idella*
[3] Alkalase
[4] Pepsin
[5] Flavourzyme

استفاده از دستگاه خشک‌کن انجمادی (Chris، مدل 101521،ساخت تایوان) در دمای ۶۰- تا ۷۰- درجهٔ سانتی‌گراد قرارداده تا به‌صورت پودر درآیند.

اندازه‌گیری درجهٔ هیدرولیز

برای محاسبهٔ این شاخص، بعد از پایان فرایند هیدرولیز (حداکثر ۱/۵ ساعت)، محلول تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰ درصد با نسبت برابر به مایع رویی افزوده و محلول حاصل با دور ۶۷۰۰ گرم در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. در واقع طی این عمل پروتئین‌های شکسته‌شده از پروتئین‌های سالم جدا شدند. نیتروژن موجود در مایع رویی جدید (محلول ۱۰ درصد تری‌کلرواستیک‌اسید که حاوی پپتیدهای هیدرولیزشده است) به‌روش بیورت سنجیده و درجهٔ هیدرولیز طبق رابطهٔ (۱) مورد محاسبه قرار گرفت (Hoyle & Memitt, 1994).

رابطهٔ (۱)

درجهٔ هیدرولیزاسون = (نیتروژن در محلول ۱۰ درصد اسیدتری کلرواستیک / میزان نیتروژن در نمونه) × ۱۰۰

در رابطهٔ (۱)، درجهٔ هیدرولیزاسیون برای تعیین میزان باندهای شکسته‌شده استفاده می‌شود. برای رسم منحنی استاندارد و به‌دست‌آوردن معادله دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR 6000، ساخت آمریکا) از سرم آلبومین گاوی به‌عنوان پروتئین استاندارد استفاده شد.

مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH

به ۰/۰۰۲گرم محلول مهارکنندگی رادیکال آزاد (DPPH)[1] ، ۵۰ سی‌سی محلول متانول ۷۰ درصد اضافه و سپس ۵۰ میکرولیتر از نمونه جدا و به آن ۵ سی‌سی محلول DPPH اضافه شد. بعد از ماندن در دمای اتاق به مدت ۲۰ دقیقه جذب نمونه در ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتوفوتومتر اندازه‌گیری و طبق رابطهٔ (۲) فعالیت آنتی‌اکسیدانی مورد محاسبه قرار گرفت.

رابطهٔ (۲)

$$\text{فعالیت آنتی‌اکسیدان} = \frac{\text{جذب شاهد} - \text{جذب نمونه}}{\text{جذب شاهد}} \times ۱۰۰$$

برای به‌دست‌آوردن استاندارد ۱۰ میلی‌گرم اتیلن‌دی‌آمین تترااستیک‌اسید (EDTA)[2] به ۱۰ سی‌سی متانول اضافه شد (Shimada *et al*., 1992).

اندازه‌گیری راندمان بازیافت نیتروژنی

میزان بازیافت نیتروژن طبق رابطهٔ (۳) مورد محاسبه قرار گرفت (James, 1995).

رابطهٔ (۳)

راندمان بازیافت نیتروژنی=A/B

در رابطهٔ (۳)، A: میزان نیتروژن در پروتئین هیدرولیزشده و B: میزان نیتروژن در نمونه می‌باشد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های به‌دست‌آمده با ۳ تکرار ازطریق نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۷ انجام پذیرفت. جهت بررسی وجود یا عدم‌وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر حاصل از هر شاخص از آنالیز واریانس دوطرفه (ANOVA) و مقایسهٔ میانگین صفت‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد انجام گردید. جدول‌ها و نمودارها به کمک نرم‌افزار Microsoft Excel نسخهٔ ۲۰۰۷ رسم شدند.

نتایج و بحث

بازیافت پروتئین امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط آنزیم‌های تجاری در دما و زمان مختلف

مطابق جدول (۱)، در دماهای هیدرولیز ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد، بازیافت پروتئین در زمان‌های هیدرولیز با اختلاف معنی‌دار مقادیر متفاوتی را نشان دادند (P<۰/۰۵). بیشترین درجهٔ بازیافت پروتئین امعاواحشا کپور علف‌خوار برای هر سه آنزیم در درجه‌حرارت ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۶۰ دقیقه و کمترین در درجه‌حرارت ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه حاصل گردید (جدول ۱، ۲ و ۳).

[1] 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

[2] Ethylenediaminetetraacetic Acid

راندمان بازیافت پروتئینی نشان‌دهندهٔ توانایی یک آنزیم در جداسازی پروتئین‌های یک ماده می‌باشد، که به خصوصیات مادهٔ موردنظر، شرایط هیدرولیز و فعالیت آنزیم بستگی دارد. بازیافت پروتئینی در هر سه آنزیم مورد بررسی در این مطالعه با افزایش زمان و دمای هیدرولیز افزایش یافت، به‌طوری‌که مطابق نتایج به‌دست‌آمده در جدول‌های (۱)، (۲) و (۳) در شرایط یکسان دمایی و در زمان‌های مختلف بیشترین میزان بازیافت پروتئین برای آنزیم آلکالاز در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه معادل ۵۴/۵۲±۰/۱۱ درصد و کمترین آن مربوط به آنزیم فلاورزایم در دمای ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه معادل ۳۷/۵۰±۰/۱۲ درصد به‌دست آمد. مقایسهٔ آنزیم‌های به‌کاررفته در واکنش هیدرولیزاسیون جهت تولید پروتئین هیدرولیزشده از لحاظ راندمان بازیافت پروتئین، نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بین آنزیم‌های شاخص است. شکرپور رودباری و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی نتایج حاصل از بررسی شدت هیدرولیز بر بازیافت نیتروژنی و اندازهٔ مولکولی پروتئینی گوشت کوسهٔ چانه‌سفید[1] نشان دادند که افزایش زمان هیدرولیز باعث افزایش راندمان بازیافت نیتروژنی و کاهش طول زنجیرهٔ پپتیدی گردید ($P<۰/۰۵$). اویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی نتایج حاصل از بررسی خواص پروتئین‌های هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا ماهی‌تُن زردباله با استفاده از آنزیم‌های تجاری (آلکالاز، پروتامکس و فلاورزایم) نشان دادند که پروتئین هیدرولیزشده توسط آلکالاز به‌صورت معنی‌داری از لحاظ میزان پروتئین و بازیافت نیتروژنی بالاتر از سایر پروتئین‌های هیدرولیزشده بود ($P<۰/۰۵$). نتایج همچنین نشان دادند که آنزیم آلکالاز نسبت به دو آنزیم دیگر دارای بازیافت پروتئینی بیشتری است. حسینی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی نتایج حاصل از مقایسهٔ پروتئین هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا و سر ماهی فیتوفاگ[2] با استفاده از آنزیم آلکالاز و آنزیم‌های داخلی بعد از زمان‌های ۲ و ۴ ساعت نشان دادند که محصول تولیدشده توسط آلکالاز (تیمار ۱) بعد از ۴ ساعت به‌طور معنی‌داری از لحاظ پروتئین بالاتر از تیمار ۲ (آنزیم‌های داخلی) بود. باتوجه‌به نتایج می‌توان آنزیم آلکالاز را نسبت به آنزیم‌های داخلی برتر دانست.

جدول ۱ - نتایج بازیافت پروتئین امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۳۵	آلکالاز	۲۵/۲۸±۰/۰۹^{cA}	۳۲/۵۲±۰/۲۴^{bA}	۴۲/۶۱±۰/۴۳^{aA}
	پپسین	۲۴/۶۰±۰/۱۹^{cB}	۳۱/۳۹±۰/۱۵^{bB}	۴۰/۲۹±۰/۳۳^{aB}
	فلاورزایم	۲۲/۳۸±۰/۰۷^{cC}	۳۰/۵۶±۰/۰۹^{bC}	۳۷/۵۰±۰/۱۲^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

جدول ۲ - نتایج بازیافت پروتئین امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۴۵	آلکالاز	۳۰/۲۵±۰/۰۹^{cA}	۳۴/۱۵±۰/۱۴^{bA}	۴۸/۸۲±۰/۱۳^{aA}
	پپسین	۲۸/۵۲±۰/۰۳^{cB}	۳۳/۲۳±۰/۰۴^{bB}	۴۷/۱۰±۰/۱۱^{aB}
	فلاورزایم	۲۷/۵۲±۰/۱۴^{cC}	۳۳/۴۳±۰/۱۵^{bC}	۴۵/۵۸±۰/۱۰^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

[1] *Carcharhinus dussumieri*

[2] Hypophthalmichthys molitrix

جدول ۳ - نتایج بازیافت پروتئین امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۵۵ درجهٔ‌سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۵۵	آلکالاز	۳۳/۶۴±۰/۰۶^{cA}	۴۲/۰۷±۰/۱۵^{bA}	۵۴/۵۲±۰/۱۱^{aA}
	پپسین	۳۱/۴۱±۰/۱۲^{cB}	۴۱/۰۸±۰/۱۳^{bB}	۵۰/۲۸±۰/۰۳^{aB}
	فلاورزایم	۲۹/۲۷±۰/۱۱^{cC}	۴۰/۱۳±۰/۱۵^{bC}	۴۸/۸۱±۰/۱۳^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

یاسمی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی نتایج حاصل از مقایسهٔ راندمان بازیافت و درجهٔ هیدرولیز پروتئین‌های موجود در امعاواحشا ماهی کپور سرگنده[1] با استفاده از آنزیم (آلکالاز، پاپائین و پروتامکس)، نشان دادند که با افزایش زمان و دمای هیدرولیز، میزان بازیافت پروتئینی افزایش یافت. بیشترین میزان بازیافت پروتئین برای هر سه آنزیم در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۶۰ دقیقه و کمترین آن در دمای ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه مشاهده شد. همچنین نتایج نشان دادند که در بین سه آنزیم مورد بررسی آلکالاز در شرایط دمایی یکسان و در زمان‌های مختلف نسبت به آنزیم‌های پاپائین و پروتامکس دارای بازیافت پروتئینی بیشتری است. Ovissipour و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی نتایج حاصل از تحقیق بهینه‌سازی هیدرولیز آنزیمی پروتئین از امعاواحشا ماهی‌تُن زردباله نشان دادند که پروتئین هیدرولیزشده از امعاواحشا، نسبتاً دارای سطح پروتئین بالا و سطح چربی پایین است. به‌علاوه نسبت بازده پروتئین هیدرولیزشده از امعاواحشا در محدودهٔ ۲/۸۵-۵/۳۵ بود.

همان‌طورکه نتیجهٔ تحقیق حاضر و سایر مطالعه‌ها نشان می‌دهد، نتایج نشان‌دهنده تأثیرگذاری بیشتر آنزیم آلکالاز نسبت به دو آنزیم دیگر در فرایند هیدرولیز می‌باشد که علت آن را می‌توان، بالابودن فعالیت پروتئولیتیکی[2] آنزیم آلکالاز در فرایند هیدرولیز نسبت به سایر آنزیم‌ها دانست (Ovissipour *et al.*, 2009; 2012).

درجهٔ هیدرولیزاسیون امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دما و زمان مختلف

مطابق جدول (۴)، (۵) و (۶)، در دماهای هیدرولیز ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد، نتایج هیدرولیز در زمان‌های هیدرولیز با اختلاف معنی‌دار، مقادیر متفاوتی را نشان دادند. همان‌طورکه جدول (۴) نشان می‌دهد، بیشترین درجهٔ هیدرولیزاسیون امعاواحشا کپور علف‌خوار برای هر سه آنزیم در درجه‌حرارت ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۶۰ دقیقه و کمترین در درجه‌حرارت ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه حاصل گردید.

جدول ۴ - نتایج هیدرولیز امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۳۵	آلکالاز	۱۰/۳۲±۰/۰۴^{cA}	۱۵/۴۱±۰/۱۳^{bA}	۱۸/۳۸±۰/۱۶^{aA}
	پپسین	۹/۳۰±۰/۰۸^{cB}	۱۳/۳۳±۰/۰۷^{bB}	۱۶/۴۴±۰/۰۷^{aB}
	فلاورزایم	۶/۵۹±۰/۲۰^{cC}	۱۱/۷۶±۰/۱۰^{bC}	۱۵/۴۲±۰/۱۳^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

[1] *Aristichthys nobilis*

[2] Proteolytic

جدول ۵ - نتایج هیدرولیز امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۴۵	آلکالاز	۱۵/۳۴±۰/۰۶^{cA}	۲۰/۴۵±۰/۱۲^{bA}	۲۲/۲۷±۰/۰۸^{aA}
	پپسین	۱۴/۵۵±۰/۱۰^{cB}	۱۷/۴۰±/۱۵^{bB}	۲۰/۳۸±۰/۰۷^{aB}
	فلاورزایم	۱۴/۷۶±۰/۰۷^{cC}	۱۶/۸۸±۰/۰۷^{bC}	۲۲/۲۷±۰/۰۸^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

جدول ۶- نتایج هیدرولیز امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۵۵	آلکالاز	۱۸/۸۲±۰/۱۴^{cA}	۲۳/۳۳±۰/۱۲^{bA}	۲۵/۴۹±۰/۱۱^{aA}
	پپسین	۱۷/۵۰±۰/۱۷^{cB}	۱۹/۴۳±۰/۱۵^{bB}	۲۳/۳۶±۰/۱۲^{aB}
	فلاورزایم	۱۶/۳۲±۰/۱۱^{cC}	۲۰/۷۶±۰/۱۷^{bC}	۲۲/۲۹±۰/۱۶^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

نتایج مربوط به درجهٔ هیدرولیزاسیون آنزیم‌های تجاری مورد استفاده در این مطالعه، باتوجه‌به جدول (۲) نشان می‌دهد که با افزایش زمان فرایند هیدرولیزاسیون، درجهٔ هیدرولیزاسیون که به معنی میزان شکسته‌شدن باندهای پپتیدی است (Mahmoud, 1994)، در تمامی آنزیم‌ها افزایش پیدا می‌کند، این در حالی است که از شدت و نرخ هیدرولیز که همان شدت جداسازی پروتئین‌های محلول از انواع غیرمحلول است (Liaset *et al.*, 2002)، کاسته می‌شود. درجهٔ هیدرولیزاسیون در هر سه آنزیم مورد بررسی در این مطالعه با افزایش زمان و دمای هیدرولیز افزایش یافت به‌طوری‌که کمترین درجهٔ هیدرولیزاسیون برای هر سه آنزیم در درجه‌حرارت ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه مربوط به آنزیم فلاورزایم و بیشترین آن، توسط آنزیم آلکالاز در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه ثبت گردید. شکرپور رودباری و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی نتایج حاصل از تحقیق اثر شدت هیدرولیز بر بازیافت نیتروژنی و اندازهٔ مولکولی پروتئینی گوشت کوسهٔ چانه‌سفید نشان دادند که افزایش زمان هیدرولیز، موجب افزایش درجهٔ هیدرولیز گردید (P<۰/۰۵). اویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی نتایج حاصل از خواص پروتئین‌های هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا ماهی تُن زردباله با استفاده از آنزیم‌های تجاری (آلکالاز، پروتامکس و فلاورزایم) نشان دادند که پروتئین هیدرولیزشده توسط آلکالاز به‌صورت معنی‌داری از لحاظ درجهٔ هیدرولیزاسیون بالاتر از سایر پروتئین‌های هیدرولیزشده بود (P<۰/۰۵).

حسینی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی نتایج حاصل از تحقیق مقایسهٔ پروتئین هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا و سر ماهی فیتوفاگ با استفاده از آنزیم آلکالاز و آنزیم‌های داخلی بعد از زمان‌های ۲ و ۴ ساعت نشان دادند که محصول تولیدشده توسط آلکالاز (تیمار ۱) بعد از ۴ ساعت به‌طور معنی‌داری از لحاظ درجهٔ هیدرولیزاسیون بالاتر از تیمار ۲ (آنزیم‌های داخلی) بود. نتایج نشان داد که با افزایش زمان هیدرولیزاسیون، درجهٔ هیدرولیزاسیون افزایش پیدا کرد. یاسمی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی نتایج راندمان بازیافت و درجهٔ هیدرولیز پروتئین‌های موجود در امعاواحشا ماهی کپور سرگنده با استفاده از آنزیم (آلکالاز، پاپائین و پروتامکس) نشان دادند که با افزایش زمان و دمای هیدرولیز، درجهٔ هیدرولیزاسیون افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که در بین ۳ آنزیم مورد بررسی آلکالاز در شرایط دمایی یکسان و در زمان‌های مختلف نسبت به آنزیم‌های پاپائین و

پروتامکس دارای درجهٔ هیدرولیزاسیون بیشتری است. بالاترین درجهٔ هیدرولیزاسیون مربوط به آنزیم آلکالاز در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه بود. Kristinsson و Rasco (۲۰۰۰b) در بررسی نتایج حاصل از تحقیق روی ویژگی‌های بیوشیمیایی و کاربردی پروتئین هیدرولیزشدهٔ عضلهٔ ماهی آزاد آتلانتیک[1] توسط پروتئازهای قلیایی مختلف نشان دادند که افزایش زمان واکنش هیدرولیز و دمای هیدرولیز به‌صورت هم‌زمان، باعث افزایش درجهٔ هیدرولیزاسیون می‌شود. باتوجه‌به نتایج تحقیق حاضر و سایر مطالعه‌ها علت این امر را می‌توان چنین توجیه نمود که با افزایش زمان هیدرولیزاسیون، تعداد باندهای پپتید در دسترس آنزیم کاهش پیدا می‌کند. همچنین از میزان فعالیت پروتئولتیکی آنزیم کاسته می‌شود که در مجموع موجب می‌شود که شدت هیدرولیز (منظور از درجهٔ هیدرولیزاسیون میزان شکسته‌شدن باندهای پپتیدی است و مفهوم شدت هیدرولیزاسیون به خواص حساسیت‌زای پروتئین‌ها مربوط می‌شود) کاهش یابد. ازطرف‌دیگر شکل‌گیری ترکیباتی که ممانعت‌کنندهٔ فعالیت آنزیمی هستند نیز می‌تواند در این امر دخیل باشد (Kristinsson & Rasco, 2000b).

تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیزشدهٔ امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط آنزیم‌های تجاری در دما و زمان مختلف

مطابق جدول (۷)، (۸) و (۹)، در دماهای هیدرولیز ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی در زمان‌های هیدرولیز با اختلاف معنی‌دار مقادیر متفاوتی را نشان دادند. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی امعاواحشا کپور علف‌خوار برای هر سه آنزیم (آلکالاز، پپسین و فلاورزایم) در درجه‌حرارت ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۶۰ دقیقه و کمترین در درجه‌حرارت ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه حاصل گردید.

جدول ۷ - نتایج فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۳۵	آلکالاز	۲۷/۳۲±۰/۰۳^{cA}	۲۸/۶۴±۰/۰۸^{bA}	۳۰/۲۵±۰/۰۴^{aA}
	پپسین	۲۶/۲۱±۰/۰۴^{cB}	۲۷/۷۳±۰/۰۸^{bB}	۲۹/۲±۰/۰۵^{aB}
	فلاورزایم	۲۶/۲۶±۰/۰۸^{cC}	۲۷/۲۶±۰/۰۷^{bC}	۲۸/۷۴±۰/۰۶^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

جدول ۸ - نتایج فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۴۵	آلکالاز	۲۸/۳۶±۰/۰۷^{cA}	۲۹/۷۶±۰/۰۸^{bA}	۳۲/۷۴±۰/۰۹^{aA}
	پپسین	۲۷/۴۶±۰/۰۷^{cB}	۲۹/۲۵±۰/۰۶^{bB}	۳۱/۴۲±۰/۰۸^{aB}
	فلاورزایم	۲۷/۲۶±۰/۰۷^{cC}	۲۸/۸۴±۰/۰۷^{bC}	۳۱/۲۸±۰/۰۷^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

[1] *Salmo salar*

جدول ۹ - نتایج فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) امعاواحشا کپور علف‌خوار توسط سه آنزیم تجاری در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد

دمای هیدرولیز (درجهٔ سانتی‌گراد)	نوع آنزیم	زمان هیدرولیز (دقیقه)		
		۱۵	۳۰	۶۰
۵۵	آلکالاز	۲۸/۶۶±۰/۰۶^{cA}	۳۱/۴۷±۰/۰۷^{bA}	۳۳/۶۶±۰/۰۵^{aA}
	پپسین	۲۸/۲۲±۰/۰۷^{cB}	۳۰/۳۱±۰/۰۶^{bB}	۳۲/۷۶±۰/۰۶^{aB}
	فلاورزایم	۲۷/۵۳±۰/۰۶^{cC}	۳۰/۳۷±۰/۰۶^{bC}	۳۱/۸۸±۰/۰۵^{aC}

حروف کوچک (a، b، c و غیره) غیرمشابه در هر ردیف به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.
حروف بزرگ (A، B و C و غیره) غیرمشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

به‌طورکلی فعالیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیزشده، بستگی به آنزیم به‌کاررفته، مادهٔ اولیه و شرایط به‌کارگرفته‌شده در آزمایش دارد (Jun *et al.*, 2004; Batista *et al.*, 2010). رادیکال هیدروکسیل[1]، یک اکسیدان اختصاصی برای لیپیدهاست و قدرت دفع رادیکال هیدروکسیل توسط یک آنتی‌اکسیدان به‌طور مستقیم با پیشگیری از گسترش فرایند اکسیداسیون لیپیدها مرتبط است (Batista *et al.*, 2010). نتایج مربوط به قدرت دفع رادیکال‌های آزاد DPPH، با استفاده از آنزیم‌های تجاری مورد استفاده در این مطالعه باتوجه‌به جدول (۳) نشان می‌دهد که با افزایش زمان فرایند هیدرولیزاسیون، خواص آنتی‌اکسیدانی در تمامی آنزیم‌ها افزایش پیدا می‌کند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی در هر سه آنزیم مورد بررسی در این مطالعه با افزایش زمان و دمای هیدرولیز افزایش یافت. به‌طوری‌که کمترین فعالیت آن برای هر سه آنزیم در درجه‌حرارت ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه مربوط به آنزیم پپسین و بیشترین آن توسط آنزیم آلکالاز در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه ثبت گردید.

شعبانپور و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی نتایج حاصل از تحقیق، اثر زمان هیدرولیز آنزیمی، درجه‌حرارت و نسبت آنزیم به سوبسترا روی خصوصیات آنتی‌اکسیدانی پپتیدهای زیست‌فعال حاصل از میگو که منجربه‌تولید پروتئین هیدرولیزشده از ضایعات میگوی ببری‌سبز[2] توسط آنزیم فلاورزایم گردید، نشان دادند که فراورده‌های تولیدی، پاسخ بهتری به دفع رادیکال DPPH در مقایسه با قدرت دفع رادیکال آزاد هیدروکسیل و قدرت احیای آهن دارند. همچنین نشان دادند که کاربرد روش سطح پاسخ جهت بهینه‌سازی شرایط تولید پروتئین هیدرولیزشده از ضایعات میگوی ببری‌سبز روشی سودمند و دقیق می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پروتئین هیدرولیزشده حاصل از آنزیم فلاورزایم دارای مقادیر بالای پروتئین بوده و خواص آنتی‌اکسیدانی مناسب دارد و می‌تواند در فرمولاسیون غذای آبزیان، دام و طیور به‌عنوان جایگزینی برای آرد ماهی پیشنهاد شود و همچنین می‌تواند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان طبیعی برای جلوگیری از فساد لیپیدها مورد استفاده قرار گیرد. اثرات هم‌زمان دما و زمان نشان می‌دهد با افزایش و کاهش دما از نقطهٔ مرکزی، قدرت دفع رادیکال DPPH پروتئین هیدرولیزشده افزایش داشته و دراین‌خصوص افزایش یا کاهش مدت زمان واکنش بی‌تأثیر بوده است. همچنین اثرات هم‌زمان مقدار آنزیم و دما نشان داد که در مقدار ثابت و کم‌آنزیم با افزایش دما، قدرت دفع رادیکال DPPH پروتئین هیدرولیزشده افزایش یافت. باتوجه‌به نتایج تحقیق حاضر و سایر مطالعه‌ها علت این امر را می‌توان چنین توجیه نمود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیزشده بستگی به آنزیم به‌کاررفته، مادهٔ اولیه و شرایط به‌کارگرفته در آزمایش دارد. همچنین نسبت آنزیم به سوبسترا، دما و زمان بر فعالیت بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH تأثیرگذار است (Jun *et al.*, 2004; Batista *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد قدرت دفع رادیکال آزاد به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر درجه‌حرارت و زمان هیدرولیز

[1] Hydroxyl radical
[2] *Penaues semisulcatus*

است، به‌طوری‌که با افزایش زمان هیدرولیز و درجه‌حرارت فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تمامی آنزیم‌ها افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای هر سه آنزیم در درجه‌حرارت ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۶۰ دقیقه به‌دست‌آمد و کمترین آن نیز در درجه‌حرارت ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در زمان ۱۵ دقیقه حاصل گردید. البته نتیجه‌گیری دقیق‌تر نیازمند بررسی پارامترهای دیگری نظیر مهار رادیکال آزاد ABTS، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل و قدرت احیاکنندگی آهن (III) است.

منابع

۱- اویسی‌پور، م.ر.، عابدیان کناری، ع.، معتمدزادگان، ع. و محمدنظری، ر. ۱۳۸۹. بررسی خواص پروتئین‌های هیدرولیزشدهٔ امعاء و احشاء ماهی تون زرد باله (*Thunnus albcares*) با استفاده از آنزیم‌های تجاری. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱(۶): ۷۶-۶۸.

۲- پزشک، س.، اجاق، س.م.، رضایی، م. و شعبانپور، ب. ۱۳۹۶. بهینه‌سازی پروتئین هیدرولیزشده با فعالیت آنتی‌اکسیدانی از امعا و احشای ماهی‌تُن زردباله (*Thunnus albcares*) با آنزیم پروتامکس. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۳(۱۲):۱۰۸-۹۹.

۳- حسینی، ش.، غرقی، الف، جمالزاده، ح.، صفری، ر. و حسینی، ش. ۱۳۹۱. مقایسهٔ پروتئین هیدرولیزشده از امعاء و احشاء و سر ماهی فیتوفاگ (*Hypophthalmichthys molitrix*) با استفاده از آنزیم آلکالاز و آنزیم‌های داخلی بافت. مجله علمی شیلات ایران، ۳(۲۱): ۶۲-۵۵.

۴- شکرپور رودباری، ر.، معتمدزادگان، ع.، حسینی‌پرور، س.ه. و اویسی‌پور، م.ر. ۱۳۸۹. اثر شدت هیدرولیز بر بازیافت نیتروژنی و اندازهٔ مولکولی پروتئین گوشت کوسهٔ چانه‌سفید (*Carcharhinus dussumieri*). نشریه فراوری و نگهداری مواد غذایی، ۲(۲): ۱۱۰-۹۹.

۵- شعبانپور، ب.، کردجزی، م.، نظری، خ. و اسمعیلی خاریکی، م. ۱۳۹۶. اثر زمان هیدرولیز آنزیمی، درجه‌حرارت و نسبت آنزیم به سوبسترا روی خصوصیات آنتی‌اکسیدانی پپتیدهای زیست‌فعال حاصل از میگو. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۱۴(۶۲):۳۱-۴۵.

۶- مهرگان‌نیکو، ع.، صادقی ماهونک، ع.، قربانی، م.، طاهری، ع.، اعلمی، م. و کمالی، ف. ۱۳۹۲. بررسی اثر شرایط هیدرولیز بر فعالیت ضداکسایشی پروتئین‌های هیدرولیزشدهٔ حاصل از ماهی کاراس (*Carassius carassius*). نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. ۴(۲): ۳۶۴-۳۵۱.

۷- یاسمی، م.، قمی مرزدشتی، م.ر.، دارنهال، ط.، محمدزاده، ب. و امینی، ه. ۱۳۹۲. مقایسهٔ راندمان بازیافت و درجهٔ هیدرولیز پروتئین‌های موجود در امعاواحشای ماهی کپور سرگنده (*Aristichthys nobilis*) با استفاده از آنزیم. مجله علمی شیلات ایران، ۱(۲۲): ۱۵۶-۱۴۹.

8- AOAC. 2002. Official methods of Analysis of AOAC International (17th ed.). Md, Gaithersburg, USA association of official analytical chemistry.

9- Batista, I., Ramos, C., Coutinho, J., Bandarra, N.M., & Nunes, M.L. 2010. Characterization of protein hydrolysates and lipids obtained from black scabbard fish (*aphanopus carbo*) by-products and antioxidative activity of the hydrolysates produced. Process Biochemistry, 45(1):18-24.

10- Bhaskar, N., & Mahendrakar, N.S. 2008. Protein hydrolysate from visceral waste proteins of Catla (*catla catla*): optimization of hydrolysis conditions for a commercial neutral protease. Bioresource Technology, 99(10):4105-4111.

11- Bhaskar, N., Benila, T., Radha, C., & Lalitha, R.G. 2008.Optimization of enzymatic hydrolysis of visceral waste proteins of Catla (*catla catla*) for preparing protein hydrolysate using a commercial protease. Bioresource Technology, 99(2):335-343.

12- Boziaris, I.S. 2014. Sea food processing. Wiley Blackwell. 479p.

13- Diniz, F.M., & Martin, A.M.1997. Optimization of nitrogen recovery in the enzymatic hydrolysis of dogfish (*squalus acanthias*) protein. composition of the hydrolysates. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 48(3):191-200.

14- FAO. 2018. The state of world fisheries and aquaculture. 227p.

15- Gan, C.Y., Manaf, N.H.A., & Latiff, A.A. 2010. Physico-chemical properties of alcohol precipitate pectin-like polysaccharides from *parkia speciosa* pod. Food Hydrocolloids, 24(5):471-478.

16- Hoyle, N.T., & Merritt, J.H. 1994. Quality of fish protein hydrolysates from herring (*clupea harengus*). Journal of Food Science, 59(1): 76-79.

17- James, C.S. 1995. Analytical Chemistry of Foods. Blackie Academic and Professional.

18- Jun, S.Y., Park, P.J., Jung, W.K. & Kim, S.K. 2004. Purification and characterization of an antioxidative peptide from enzymatic hydrolysate of yellowfin sole (*limanda aspera*) frame protein. European Food Research and Technology, 219(1):20-26.

19- Kristinsson, H.G., & Rasco, B.A. 2000a. Biochemical and functional properties of atlantic salmon (*salmo salar*) muscle proteins hydrolyzed with various alkaline proteases. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 48(3):657-666.

20- Kristinsson, H.G., & Rasco, B.A. 2000b. Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. Critical reviews in Food Science and Nutrition, 40(1):43-81.

21- Liaset, B., Julshamn, K., & Espe, M. 2003. Chemical composition and theoretical nutritional evaluation of the produced fractions from enzymic hydrolysis of salmon frames with protamex™. Process Biochemistry, 38(12):1747-1759.

22- Liaset, B., Nortvedt, R., Lied, E. & Espe, M. 2002. Studies on the nitrogen recovery in enzymatic hydrolysis of Atlantic salmon (*salmo salar,* L.) frames by protamex™ protease. Process Biochemistry, 37(11):1263-1269.

23- Mahmoud, M.I. 1994. Physicochemical and functional properties of hydrolysates in nutritional products. Food Technology, 48(10):89-95.

24- Ovissipour, M., Safari, R., Motamedzadegan, A., & Shabanpour, B. 2012. Chemical and biochemical hydrolysis of persian sturgeon (*acipenser persicus*) visceral protein. Food and Bioprocess Technology, 5(2):460-465.

25- 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.

26- Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. 1992. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. Journal of agricultural and Food Chemistry, 40(6):945-948.

27- Slizytė, R., Dauksas, E., Falch, E., Storro, I., & Rustad, T. 2005. Characteristics of protein fractions generated from hydrolysed cod (*gadus morhua*) by-products. Process Biochemistry, 40(6):2021-2033.

The Effect of Enzyme, Time and Temperature on the Properties of Hydrolyzed Protein of Viscera Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*)

Atena Rafatinia[1], Laleh Roomiani[2*]

1-M.Sc. in Department of Food and Technology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
2-Assistant Professor in Department of Fisheries, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
* Corresponding author (l.roomiani@yahoo.com)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of enzyme kind, time and temperature on the properties of viscera (*Ctenopharyngodon idella*) hydrolyzed proteins. In this study, viscera was subjected to hydrolysis by alkalase, pepsin and flavourzyme commercial enzymes. Recycling efficiency and degree of hydrolysis obtained proteins and antioxidant activity DPPH in different conditions of the hydrolysis process at 15, 30, 60 min and three temperatures of 35, 45, 55 °C and between three enzymes with three replicates reviewed and compared. To investigate the existence or absence of significant differences between the values of each index, two-way analysis of variance and comparison of mean traits were used by Duncan test. For all enzymes used in this study, by increasing the time and temperature of hydrolysis, the amount of protein recovery and degree of hydrolysis and antioxidant activity increased, and the highest of these two indices for all three enzymes at 55 °C and in the time was 60 min and the lowest was observed at 35 °C and at 15 min. Also, the results showed that among the three enzymes studied, alkalase was similar in temperature to different pepsin and flavourzyme enzymes, with protein recovery and higher degree of hydrolysis and antioxidant activity. The highest protein digestion was related to the alkalase enzyme at 55 °C and 60 min (54.52±0.11%), and the lowest was obtained at 35 °C and 15 min. The results showed that the use of alkalase enzyme to produce hydrolyzed protein from grass carp was better in terms of recycling efficiency and degree of hydrolysis and antioxidant activity.

Keywords: Enzyme, Viscera, Hydrolyzed protein, Grass carp

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۲۹۶-۲۸۱

JRIFST

بررسی ویژگی‌های جریان‌پذیری پودر عصارۀ سماق ریزپوشانی‌شده و خشک‌شده به روش پاششی و اثر شرایط مختلف نگهداری آن بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نسرین ملکی‌زاده[۱]، سیدهادی پیغمبردوست[۲*]، عارف اولادغفاری[۳]، خشایار سرابندی[۴]

۱- دانش آموختۀ کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- استاد تکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
* نویسندۀ مسئول (peighambardoust@tabrizu.ac.ir)
۳- عضو هیأت علمی، گروه پژوهشی مواد غذایی، پژوهشکده غذایی و کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران
۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲

واژه‌های کلیدی
خشک‌کردن پاششی
ریزپوشانی
سماق
نگهداری
ویژگی‌ها

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی اثر شرایط خشک‌کردن پاششی و نیز شرایط نگهداری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی ـ شیمیایی پودر عصارۀ سماق بوده است. پودر سماق در سه دمای هوای ورودی (۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجۀ سانتی‌گراد) و سه غلظت مالتودکسترین (۱۰، ۲۰ و ۳۰ غلظت) و جریان هوای همسو با خوراک ورودی تولید شده است. دانسیتۀ توده و ضربه، زاویۀ ریپوز، شاخص تراکم‌پذیری و شاخص پیوستگی، میزان رطوبت، ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تعیین گردیده است. پودرها به مدت ۹۰ روز در تاریکی (۶ و ۲۰ درجۀ سانتی‌گراد) و روشنایی (۲۰ درجۀ سانتی‌گراد) نگهداری شده‌اند و تغییرات فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها ارزیابی گردیده است. با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین، جریان‌پذیری پودرها افزایش یافته ولی دانسیتۀ توده و ضربه و ترکیبات فنولی کاهش یافته است. دماهای بالاتر و غلظت‌های پایین‌تر مالتودکسترین باعث کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها گردیده است. برای پایداری و یا حتی بهبود ترکیبات فنولی طی دوره‌های نگهداری طولانی‌مدت، نگهداری در شرایط دمای پایین و تاریکی مناسب‌تر است.

مقدمه

قدمت استفاده از ادویه‌ها و گیاهان به‌عنوان چاشنی جهت ایجاد طعم، بهبود رنگ، بهبود عطروطعم، همچنین اهداف دارویی و نگهداری مواد غذایی به بیش از ۲۰۰۰ سال می‌رسد (Embuscado, 2015). سماق یکی از ادویه‌هایی است که در رژیم مدیترانه‌ای استفادۀ فراوانی از آن می‌شود. میوۀ سماق شامل ترکیبات فنولی نظیر فلاونوئیدها[۱]، تانن‌ها[۲]، آنتوسیانین‌ها[۳] و اسیدهای آلی است. این ترکیبات با فعالیت آنتی‌اکسیدانی خود منجربه ایجاد خواص ضدسرطانی در سماق می‌گردند. همچنین مطالعه‌های مختلفی خواص ضدمیکروبی و پیشگیری‌کنندگی دیابتی میوۀ سماق را اثبات نموده‌اند (Giancarlo *et*

[1] Flavonoids
[2] Tannins
[3] Anthocyanins

al., 2006; Gündüz *et al*., 2010; Kosar *et al*., 2007). امروزه افزایش تقاضا برای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طبیعی به‌جای ترکیبات افزودنی سنتزی وجود دارد. روش ریزپوشانی عصارهٔ ادویه‌ها برای حفظ ترکیبات عطروطعم و همچنین رنگ‌دانه‌ها در ادویه‌ها توسط محققان پیشنهاد شده است (Kanakdande *et al*., 2007; Krishnan *et al*., 2005). پایدارسازی ترکیبات غذایی یا افزایش دسترسی زیستی آنها یکی از مهم‌ترین دلایل برای ریزپوشانی ترکیبات فعال است (Desai & Jin Park, 2005; Shahidi & Han, 1993). یکی از روش‌های رایج ریزپوشانی ترکیبات غذایی، خشک‌کردن پاششی است. انتقال، نگهداری و استفاده از ذرات جامد تولیدی در صنایع مختلف شیمیایی، غذایی و به‌ویژه در صنعت داروسازی که نزدیک به ۸۰ درصد محصولات به فرم ذرات جامد و پودری‌شکل می‌باشند، حائز اهمیت است. ازاین‌رو، شناسایی برخی از ویژگی‌ها، نظیر جریان‌پذیری پودرها با هدف کنترل بهتر فرایندهای تولید و ممانعت از مشکلاتی نظیر کلوخه‌ای‌شدن، توده‌ای‌شدن و چسبندگی، امری ضروری است (Boonyai *et al*., 2004). در خشک‌کردن پاششی برای رفع مشکلات چسبندگی و به‌دست‌آوردن پودری با ویژگی‌های قابل‌قبول، ترکیبات غذایی توسط مادهٔ حامل مناسب پوشش داده می‌شوند (Goula & Adamopoulos, 2008b). Ersus و Yurdagel (۲۰۰۷) عصارهٔ هویج سیاه را با مالتودکسترین به روش پاششی خشک نمودند و نشان دادند که ذخیره‌سازی در ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نیمه‌عمر رنگدانه‌های آنتوسیانین خشک‌شده به روش پاششی را ۳ برابر نسبت به ذخیره‌سازی در ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش می‌دهد. نتایج پژوهش Fang و Bhandari (۲۰۱۱) نشان داد که پودرهای توت خشک‌شده به روش پاششی به جهت پایداری پلی‌فنول‌ها بایستی در دماهای کمتر از ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و فعالیت آبی ۰/۳۳ نگهداری شوند. در مطالعهٔ Ferrari و همکاران (۲۰۱۳) با هدف ارزیابی ماندگاری آنتوسیانین‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر تمشک به‌دست‌آمده از خشک‌کن پاششی با استفاده از مالتودکسترین و صمغ عربی طی ۵ ماه نگهداری در ۲۵ و ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد، مشخص شد که دما به‌طور منفی پایداری آنتوسیانین‌ها و به‌طور مثبت فعالیت آنتی‌اکسیدانی را طی نگهداری تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. Cam و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر شرایط ریزپوشانی بر کیفیت محصول تولیدی فنول‌های تفالهٔ انار را بررسی نموده و هیچ اختلاف قابل‌توجه آماری در ترکیبات فنولی ریزکپسول‌ها طی دورهٔ نگهداری ۹۰ روزه در ۴ درجهٔ سانتی‌گراد مشاهده نکردند. براساس اطلاعات بررسی‌شده، تاکنون مطالعه‌ای درزمینهٔ ارزیابی پایداری ترکیبات بیولوژیکی طی زمان در شرایط نگهداری مختلف بر خواص پودر عصارهٔ سماق در جریان خشک‌کردن پاششی صورت نگرفته است. در این مطالعه پودر عصارهٔ سماق به‌دست‌آمده ازنظر دانسیتهٔ توده، دانسیتهٔ ضربه، زاویهٔ ریپوز، شاخص پیوستگی، شاخص تراکم‌پذیری، مقدار ترکیبات فنولی و نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارزیابی گردید. همچنین پودرها به مدت ۹۰ روز در شرایط مختلف نگهداری شدند و محتوای فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

مواد خام

میوه‌های تازهٔ سماق از شهرستان هوراند (آذربایجان شرقی) خریداری شدند و بعد از تمیزشدن، در دمای محیط در سایه خشک و آسیاب گردیدند. پریکارپ[1] خالص میوه‌ها تا زمان انجام آزمایش در محیط خنک نگهداری شد. حامل مورد استفاده در این پژوهش مالتودکسترین (با معادل دکستروز ۱۸، شرکت پوران پودر سپاهان، اصفهان) بود. کربنات‌سدیم، معرف فولین، گالیک‌اسید، دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازایل (DPPH)[2] و متانول از شرکت تترا-کم[3] خریداری شد.

آماده‌سازی عصارهٔ سماق جهت خشک‌کردن پاششی

میوهٔ سماق آسیاب و به نسبت ۱۰ درصد وزنی با آب‌مقطر مخلوط گردیده سپس در بن‌ماری با دمای حدود ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه

[1] Pericarp
[2] 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
[3] Tetra-Chem

عصاره‌گیری شد. عصارهٔ آبی سماق به‌دست‌آمده که دارای بریکس ۴ بوده است، پس از صاف‌شدن با کمک پارچهٔ صافی، با همزن در نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی ـ وزنی با حامل مالتودکسترین به‌خوبی مخلوط گشت و محلول خوراک همگنی به‌دست آمد (Azimi *et al*., 2006).

خشک‌کردن پاششی

در این پژوهش از خشک‌کن پاششی کارگاهی (ساخت شرکت مهام صنعت، نیشابور) استفاده گردید. اتمایزر چرخشی این دستگاه با قطر ۵ سانتی‌متر و قابلیت چرخش توسط کمپرسور هوا، خوراک ورودی را به داخل محفظهٔ خشک‌کن به‌صورت جریان هم‌جهت با هوای داغ، اتمیزه می‌نماید. محفظهٔ خشک‌کن به‌صورت استوانه‌ای، با قسمت تحتانی مخروطی‌شکل با قطر ۱ متر در بخش استوانه‌ای و ارتفاع کل محفظه ۲ متر بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیهٔ حجمی پریستالتیک[1] با دبی تغذیهٔ متغیر و ظرفیت حداکثر ۳ لیتر مایع در ساعت با فشار ۱ بار می‌باشد. در تمام آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک و فشار هوای نازل به‌ترتیب در ۱۸۰۰ دور در دقیقه، ۲۰ میلی‌لیتر در دقیقه و ۰/۱±۴ بار، ثابت نگاه داشته شد. پودر سماق، در سه دمای هوای ورودی ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد تولید شد. دمای هوای خروجی به‌طور میانگین در ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد تنظیم شد. درنهایت پودرهای تولیدشده با خشک‌کن پاششی، بلافاصله به ظرف تیره و درب‌دار منتقل و برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند.

اندازه‌گیری دانسیتهٔ توده

۲ گرم پودر در یک استوانهٔ مدرج ۱۰ میلی‌لیتری به آرامی ریخته شد و استوانه کمی تکان‌داده‌شده تا سطح پودر داخل استوانه صاف شود. درنهایت دانسیتهٔ توده مطابق رابطهٔ (۱) از نسبت جرم پودر به حجم اشغال‌شده در استوانه به‌دست آمد (Goula *et al*., 2004).

رابطهٔ (۱)

$$\int m/v$$

در رابطهٔ (۱)، m: نشان‌دهندهٔ جرم پودر برحسب گرم و v: حجم نمونه برحسب میلی‌لیتر است.

اندازه‌گیری دانسیتهٔ ضربه

برای به‌دست‌آوردن دانسیتهٔ ضربه، بعد از تعیین دانسیتهٔ توده، ضربات مداومی بر استوانهٔ مدرج وارد شد تا زمانی که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود. درنهایت نسبت جرم پودر به حجم محاسبه و دانسیتهٔ ضربه به‌دست آمد (Goula & Adamopoulos, 2008a).

اندازه‌گیری زاویهٔ ریپوز

۱۰ گرم پودر عصارهٔ سماق توزین و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خارجی ۱۲ میلی‌متر عبور داده شد تا بر یک سطح افقی صاف ریخته‌شده و تشکیل توده گردد. زاویهٔ ریپوز ازطریق زاویهٔ تشکیل‌شده به‌وسیلهٔ شیب تودهٔ محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید (Bhandari *et al*., 1998).

اندازه‌گیری شاخص پیوستگی و شاخص تراکم‌پذیری پودر[2]

پیوستگی پودر با نسبت هاسنر[3] (HR) مطابق رابطهٔ (۲) محاسبه شد. در طبقه‌بندی پیوستگی پودر براساس نسبت هاسنر HR<۱/۲ نشان‌دهندهٔ پیوستگی کم، ۱/۱<HR<۲/۴ نشان‌دهندهٔ پیوستگی متوسط و در پودرهایی با HR>۲/۴ به‌معنی پیوستگی زیاد است (Jinapong *et al*., 2008).

رابطهٔ (۲)

$$HR=TD/BD$$

در رابطهٔ (۲)، HR: نسبت هاسنر، TD: دانسیتهٔ حاصل از ضربه و BD: دانسیتهٔ توده هستند.

شاخص تراکم‌پذیری را نیز می‌توان با یکی از دو رابطهٔ (۳ و ۴) محاسبه نمود:

رابطهٔ (۳)

$$CI = \frac{(TD - BD)}{TD} \times 100\%$$

[1] Peristaltic

[2] Cohesiveness

[3] Hausner ratio

در رابطهٔ (۳)، CI[1]: نشان‌دهندهٔ شاخص تراکم‌پذیری، TD: نشان‌دهندهٔ دانسیتهٔ حاصل از ضربه و BD: نشان‌دهندهٔ دانسیتهٔ توده است (Carr, 1965).

رابطهٔ (۴)

$$CI = 1 - (\frac{1}{HR})$$

در رابطهٔ (۴)، HR: نشان‌دهندهٔ نسبت هاسنر می‌باشد.

اندازه‌گیری رطوبت

رطوبت نمونه‌ها توسط روش وزن‌سنجی حرارتی تعیین گردید. در این روش، ۲ گرم از پودر تا رسیدن به وزن ثابت در آون با دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. مقدار رطوبت ازطریق رابطهٔ (۵) محاسبه گردید.

رابطهٔ (۵)

$$M\% = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1}$$

در رابطهٔ (۵)، M: درصد رطوبت، W_1: وزن ظرف خالی، W_2: مجموع وزن پودر و ظرف و W_3: مجموع وزن پودر خشک‌شده و ظرف بعد از آون‌گذاری است (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۹).

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی

مقادیر ترکیبات فنول کل پودر و عصارهٔ سماق به روش فولین-سیوکالتیو[2] با اندکی تغییر اندازه‌گیری گردید (Singleton & Rossi, 1965). برای اندازه‌گیری ترکیبات فنولی پودر، ۱ گرم پودر با ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به‌خوبی مخلوط‌شده، سپس به ۱ میلی‌لیتر از محلول فوق، ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین و ۵ میلی‌لیتر از محلول ۷/۵ درصد کربنات سدیم اضافه و سپس با آب‌مقطر به حجم ۵۰ رسانده شد. درنهایت به‌خوبی تکان‌داده و داخل ظروف تیره ریخته و در تاریکی قرار داده شدند. پس از ۴۰ دقیقه، توسط اسپکتروفتومتر (شرکت یونیکو، uv-2100، ساخت آمریکا) جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف اسیدگالیک و اندازه‌گیری جذب در ۷۶۵ نانومتر رسم شد. محتوای فنول کل براساس میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم پودر عصارهٔ سماق و به‌صورت میانگین در سه تکرار گزارش گردید.

کارایی ریزپوشانی

بازده ریزپوشانی به‌صورت میزان ترکیبات فنلی پودر بر میزان ترکیب فنلی مخلوط خام اولیه محاسبه گردید.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

توانایی بازدارندگی رادیکال‌های آزاد براساس روش Brand-Williams و همکاران (۱۹۹۵) با اندکی تغییر تعیین گردید. محلول متانولی DPPH (۰/۰۲۵ گرم DPPH در ۱ لیتر متانول) به‌صورت روزانه تهیه و داخل ظرف تیره نگهداری شد. ۱ گرم پودر در ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر کاملاً مخلوط‌شده و به ۰/۱ میلی‌لیتر محلول فوق، ۳/۹ میلی‌لیتر از محلول متانولی DPPH افزوده شد. سپس کاملاً هم‌زده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. درنهایت جذب در ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد (Brand-Williams *et al.*, 1995). درصد بازدارندگی از رابطهٔ (۶) محاسبه گردید:

رابطهٔ (۶)

$$\%Inhibition = 1-(A_{Sample}/A_{Control})$$

در رابطهٔ (۶)، A_{sample}: نشان‌دهندهٔ جذب نمونه و A_{contrl} نشان‌دهندهٔ جذب کنترل (نمونهٔ فاقد سماق) است.

آزمون‌های نگهداری طی زمان

پودرهای عصارهٔ سماق به مدت ۹۰ روز در سه شرایط نگهداری؛ تاریکی ۶ درجهٔ سانتی‌گراد، تاریکی ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و روشنایی ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. در انتهای روز ۹۰، ترکیبات فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرها ارزیابی شد.

آنالیز آماری

در پژوهش حاضر آنالیز واریانس (ANOVA) داده‌ها

[1] Carr Index
[2] Folin-Ciocalteu

در قالب طرح فاکتوریل، با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخهٔ ۱۶ انجام شد. مقایسهٔ میانگین‌ها براساس آزمون توکی انجام گردید (P<۰/۰۵). این پژوهش با استفاده از ۹ تیمار و در سه تکرار (به‌غیراز آزمون اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی که در دو تکرار بود) انجام گردید.

نتایج و بحث

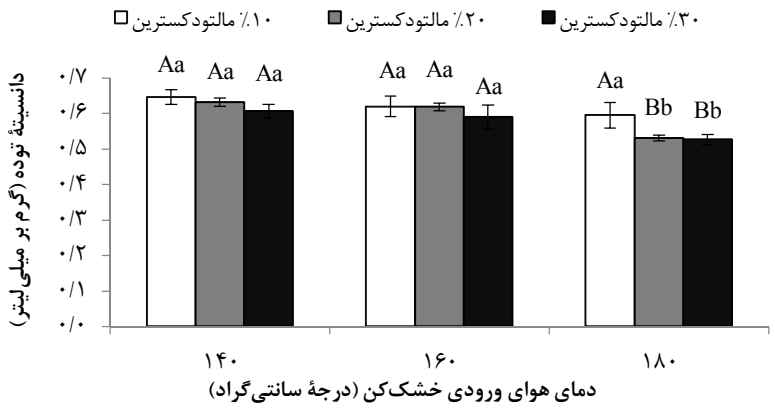
بررسی تغییرات دانسیتهٔ تودهٔ پودرها

براساس جدول آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۱)، اثر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر مقدار دانسیتهٔ توده معنی‌دار (P<۰/۰۵) بوده و همچنین تأثیر معنی‌داری دما بیشتر از غلظت مالتودکسترین بوده است. با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین، از مقدار دانسیتهٔ توده کاسته شد (شکل ۱). با افزایش دمای خشک‌کردن، امکان تولید ذرات با چروکیدگی کم افزایش می‌یابد که درنتیجه اندازهٔ ذرات بزرگ‌ترشده و خلل‌وفرج و فضای خالی بین ذرات بیشتر می‌شود، بنابراین از میزان دانسیتهٔ توده کاسته می‌شود، که این کاهش در دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد معنی‌دار بوده است (Santhalakshmy *et al*., 2015; Mishra *et al*., 2014; Kha *et al*., 2010; Goula & Adamopoulos, 2005). ازطرف‌دیگر با افزایش درجه‌حرارت، رطوبت کاهش‌یافته و ذرات سبک‌ترشده و درنتیجه دانسیتهٔ توده کاهش یافت (جدول ۲). افزایش غلظت حامل نیز به‌دلیل افزایش اندازهٔ ذرات و همچنین کاهش مقادیر رطوبت و باتوجه‌به دلایل توضیح‌داده‌شده، باعث کاهش دانسیتهٔ توده گردید. باتوجه‌به اینکه حامل باعث تشکیل پوسته در سطح ذرات می‌شود، افزایش مقدار حامل باعث افزایش میزان هوای حبس‌شده در ذرات می‌شود و از آن جهت که هوا دانسیتهٔ کمتری دارد، دانسیتهٔ توده پودر کاهش می‌یابد (Santhalakshmy *et al*., 2015; Goula & Adamopoulos, 2010).

جدول ۱- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	زاویهٔ ریپوز	دانسیتهٔ توده	دانسیتهٔ ضربه	شاخص تراکم‌پذیری	شاخص پیوستگی
		F value				
دما (A)	۲	۷۲۷۴/۹۰***	۲۸/۲۴***	۲۰/۲۸***	۱/۴۲ns	۰/۹۷ns
غلظت (B)	۲	۵۷۸۶/۱۷***	۹/۳۴**	۱۰/۰۵**	۰/۱۶ns	۰/۰۸ns
اثر متقابل (A×B)	۴	۳۱۴/۱۲***	۱/۶۹ns	۳/۳۴*	۱/۶۵ns	۱/۵۳ns
خطای آزمایش	۱۸					
کل	۲۶					

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ns عدم معنی‌داری



شکل ۱ - تغییرات دانسیتهٔ تودهٔ پودرهای تحت‌تأثیر دمای هوای خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین

اعداد گزارش‌شده میانگین سه تکرار هستند. حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) بسته به غلظت مالتودکسترین (حروف بزرگ) و بسته به دمای هوای ورودی (حروف کوچک) هستند.

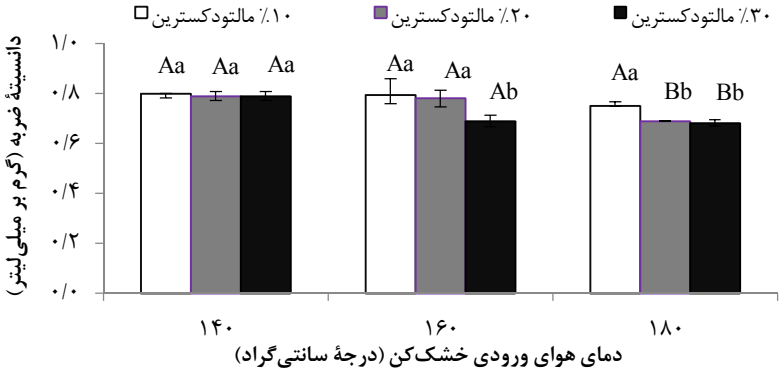
جدول ۲- تغییرات رطوبت پودرها تحت‌تأثیر دمای هوای خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین

دما (درجهٔ سانتی‌گراد) / غلظت	۱۴۰	۱۶۰	۱۸۰
۱۰ درصد مالتودکسترین	۳/۸۱۸±۰/۲۷۷^{Aa}	۳/۰۵۳±۰/۵۸۲^{Ab}	۲/۹۵۵±۰/۴۳۴^{Ab}
۲۰ درصد مالتودکسترین	۳/۱۶۵±۰/۲۸۶^{Ba}	۲/۵۳۸±۰/۵۵۸^{Ab}	۲/۵۱۷±۰/۵۲۵^{ABb}
۳۰ درصد مالتودکسترین	۳/۱۵۵±۰/۶۸۷^{Ba}	۲/۵۳۲±۰/۵۴۸^{Ab}	۲/۳۲۸±۰/۷۵۷^{Bb}

اعداد گزارش‌شده میانگین سه تکرار هستند. حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) بسته به غلظت مالتودکسترین (حروف بزرگ) و بسته به دمای هوای ورودی (حروف کوچک) هستند.

بررسی تغییرات دانسیتهٔ ضربهٔ پودرها

براساس جدول (۱)، تأثیر معنی‌داری دما بر دانسیتهٔ ضربه بیشتر از تأثیر غلظت مالتودکسترین بوده است (P<۰/۰۵). با افزایش دما و افزایش غلظت مالتودکسترین، از مقدار دانسیتهٔ ضربه کاسته شد (شکل ۲). اندازهٔ ذره عامل مؤثر در دانسیتهٔ ضربه‌ای، می‌باشد، اگر اندازهٔ ذرات درشت‌تر باشد در اثر ضربه حجم تغییر زیادی پیدا نمی‌کند، بنابراین دانسیتهٔ ضربه کوچک‌تر می‌شود. هرچه اندازهٔ ذرات ریزتر باشد چون ذرات ریز می‌توانند در منافذ بین ذرات قرار گیرند، درنتیجه خلل‌وفرج کاهش‌یافته و حجم نیز متناسب با آن کاهش می‌یابد و دانسیتهٔ ضربه بیشتر می‌شود (Abdullah & Geldart, 1999).

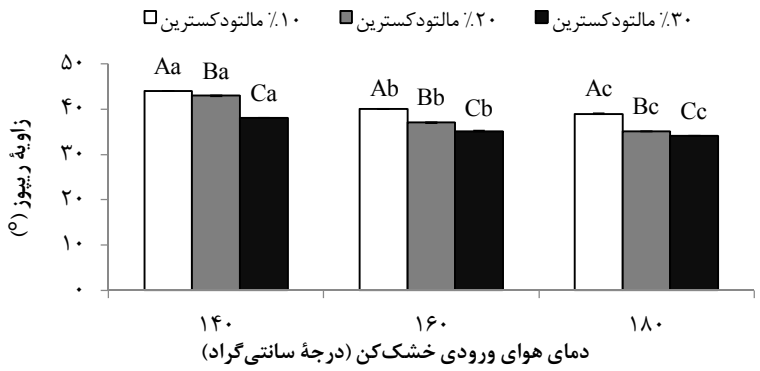


شکل ۲ - تغییرات دانسیتهٔ ضربهٔ پودرهای تحت‌تأثیر دمای هوای خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین

اعداد گزارش‌شده میانگین سه تکرار هستند. حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) بسته به غلظت مالتودکسترین (حروف بزرگ) و بسته به دمای هوای ورودی (حروف کوچک) هستند.

بررسی تغییرات زاویهٔ ریپوز پودرها

اندازه‌گیری زاویهٔ ساکن یا ایستای ریپوز، یکی از روش‌های ارزیابی جریان‌پذیری پودرهای غذایی می‌باشد. این زاویه با یک شیب ثابت هنگامی‌که پودر بر یک سطح صاف ریخته می‌شود، تشکیل می‌گردد. مطابق شکل (۳) با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین به‌طور معنی‌داری از مقدار زاویهٔ ریپوز پودرهای عصارهٔ سماق کاسته‌شده که نشان‌دهندهٔ جریان‌پذیری بیشتر پودرها می‌باشد (P<۰/۰۵). باتوجه‌به معیارهای پیشنهادشده توسط Bhandari و همکاران (۱۹۹۸) پودرهایی با «جریان‌پذیری آزاد» آنهایی هستند که زاویهٔ ریپوز کمتر از ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد دارند و زاویهٔ ریپوز بالای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد نشان‌دهندهٔ چسبندگی و مشکلات جریان‌پذیری است.



شکل ۳ - تغییرات زاویهٔ ریپوز پودرهای تحت‌تأثیر دمای هوای خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین

اعداد گزارش‌شده میانگین سه تکرار هستند. حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) بسته به غلظت مالتودکسترین (حروف بزرگ) و بسته به دمای هوای ورودی (حروف کوچک) هستند.

زاویهٔ ریپوز پودر عصارهٔ سماق در محدودهٔ ۳۴ الی ۴۴ درجه بود. پودرهای به‌دست‌آمده در دماها و غلظت‌های بالاتر (برای مثال پودرهای تولیدشده در ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد و نیز پودرهای حاوی ۳۰ درصد مالتودکسترین) جزء پودرهایی با جریان‌پذیری بالا یا به اصطلاح جریان‌پذیری آزاد بودند و سایر پودرها ویژگی‌های جریان‌پذیری در محدودهٔ نسبتاً خوب را دارا بودند. تقویت جریان‌پذیری پودرها در دماهای بالاتر به مقدار رطوبت پایین‌تر آنها نسبت داده می‌شود، زیرا رطوبت بالاتر موجب تضعیف جریان‌پذیری می‌شود (Fitzpatrick, 2005). براساس مطالعه‌های Scoville و Pelag (۱۹۸۱) این موضوع به‌دلیل افزایش در پل‌های مایع و نیروی مویینگی بین ذرات می‌باشد. ازطرف‌دیگر با افزایش اندازهٔ ذرات، نیروهای بین‌ذره‌ای ضعیف‌ترشده، چسبندگی بین ذرات کاهش می‌یابد و ذراتی با جریان‌پذیری بیشتر تولید می‌شود (Abdullah & Geldart, 1999). همان‌گونه که اشاره شد با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین، از رطوبت پودرها کاسته و بر اندازهٔ ذرات افزوده شد. این یافته‌ها موافق با نتایج Moreira و همکاران (۲۰۰۹) بود.

بررسی تغییرات شاخص تراکم‌پذیری و شاخص پیوستگی پودرها

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی جریان‌پذیری پودرها، تعیین نسبت هاسنر و یا همان پیوستگی است. نسبت هاسنر به‌صورت مقدار اُفت در دانسیتهٔ توده به دانسیتهٔ ضربه بیان می‌شود. از روش‌های دیگر ارزیابی جریان‌پذیری، اندازه‌گیری شاخص تراکم‌پذیری می‌باشد. براساس جدول (۱) اثر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین و نیز اثر متقابل دما و غلظت بر مقدار پیوستگی و شاخص تراکم‌پذیری پودرها از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است (P>۰/۰۵). اندازهٔ ذرات، تأثیر مهمی بر جریان‌پذیری پودرها داشت. افزایش اندازه منجربه بهبود ویژگی‌های جریان‌پذیری پودرها شد. اندازهٔ ذرات کوچک‌تر و حضور ذرات ریز، منجربه ویژگی‌های جریان‌پذیری ضعیف‌تری می‌شود که به‌صورت اعداد نسبت هاسنر و شاخص تراکم‌پذیری بزرگ‌تر مشخص می‌شود.

بررسی مقدار ترکیبات فنولی

در مطالعه‌های پیشین کارایی خوب خشک‌کن پاششی برای خشک‌کردن ترکیبات حساس به حرارت گزارش شده است (Fang & Bhandari, 2011). بازده کپسولاسیون یا اصطلاحاً کارایی ریزپوشانی در این مطالعه ۹۷-۸۴ درصد بود (جدول ۳). .دمای خشک‌کردن و غلظت مالتودکسترین تأثیر قابل توجهی بر ترکیبات فنولی پودرها داشت (P<۰/۰۵). ترکیبات فنولی پودر عصارهٔ سماق در محدودهٔ ۴/۱-۳/۷ (میلی‌گرم اسیدگالیک به‌ازاء گرم پودر عصارهٔ سماق) و ترکیبات فنولی عصارهٔ سماق در حدود ۴/۲۸ (میلی‌گرم اسیدگالیک به‌ازاء گرم عصارهٔ سماق) به‌دست آمد. همان‌گونه که از جدول (۴) مشخص است با افزایش دمای خشک‌کردن و افزایش غلظت

مالتودکسترین به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) از مقدار ترکیبات فنول کل کاسته شد. ترکیبات فنولی در برابر دماهای بالای خشک‌کردن حساس هستند و به همین علت افزایش دما می‌تواند باعث تجزیهٔ حرارتی یا اکسیداسیون و درنتیجه باعث کاهش محتوای ترکیبات فنولی و نیز کاهش کارایی ریزپوشانی گردد. همچنین گزارش شده است که پودرهای خشک‌شدهٔ پاششی در دماهای پایین‌تر، تمایل به متراکم‌شدن[1] دارند که به‌دلیل مقدار رطوبت بالاتر آنها می‌باشد. متراکم‌شدن منجربه در معرض قرارگیری کمتر پودرها در برابر اکسیژن می‌شود و بنابراین ترکیبات فنولی را از تجزیه‌شدن محافظت می‌کند (Quek *et al*., 2007; Goula *et al*., 2004). ازطرف‌دیگر افزایش غلظت حامل باعث رقیق‌شدن و کاهش مواد مغذی خوراک ورودی به خشک‌کن نظیر ترکیبات فنولی عصاره می‌شود، چون مالتودکسترین ماده‌ای است که فاقد فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (Mishra *et al*., 2014). ازطرف‌دیگر برخی از مطالعه‌ها نشان داده‌اند که در دماهای بالا با افزایش مقدار مالتودکسترین، کارایی ریزپوشانی افزایش می‌یابد و این امر به‌دلیل اثر ریزپوشانندگی مالتودکسترین می‌باشد (kha *et al*., 2010; Wagner & Warthesen, 1995; Bhandari *et al*., 1992).

جدول ۳ - تغییرات کارایی کپسولاسیون

غلظت / دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	۱۴۰	۱۶۰	۱۸۰
۱۰ درصد مالتودکسترین	۹۷/۰۸	۹۶/۸۸	۹۶/۸۸
۲۰ درصد مالتودکسترین	۹۲/۱۴	۹۰/۴۷	۸۹/۷۶
۳۰ درصد مالتودکسترین	۸۷/۶۷	۸۵/۱۵	۸۴/۷

[1] Agglomeration

جدول ۴- تأثیر تیمارها، شرایط و زمان نگهداری بر مقدار ترکیبات فنولی پودر عصارهٔ سماق تهیه‌شده به روش خشک‌کن پاششی

زمان	روز ۱			روز ۳۰			روز ۶۰			روز ۹۰		
تیمار	نور، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۶ درجهٔ سانتی‌گراد	نور، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۶ درجهٔ سانتی‌گراد	نور، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۶ درجهٔ سانتی‌گراد	نور، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۶ درجهٔ سانتی‌گراد
۱۴۰ °C-٪۱۰	۴/۱۰ Ac	۴/۱۰ Ad	۴/۱۰ Ab	۴/۲۷ Aab	۴/۲۷ Abc	۴/۱۸ Aab	۴/۳۵ Aab	۴/۲۳ Ac	۴/۱۹ Aab	۴/۲۱ Abc	۴/۴۰ Aa	۴/۲۷ Aa
۱۴۰ °C-٪۲۰	۳/۸۷ Bd	۳/۸۷ Bb	۳/۸۷ Bc	۴/۱۰ BCb	۴/۱۱ BCa	۳/۹۴ Babc	۴/۰۲ Cbc	۴/۱۱ Ca	۳/۸۷ Cc	۳/۹۴ Ccd	۴/۱۲ Ba	۴/۰۶ Cab
۱۴۰ °C-٪۳۰	۳/۸۴ BCb	۳/۸۴ BCa	۳/۸۴ BCc	۴/۰۱ CDa	۳/۹۱ EFa	۳/۸۸ BCbc	۳/۸۲ Eb	۳/۹۴ Ea	۳/۸۲ Cc	۳/۸۶ CDEb	۳/۸۴ Da	۴/۰۱ Ca
۱۶۰ °C-٪۱۰	۴/۰۵ Ab	۴/۰۵ Abc	۴/۰۵ Ab	۴/۲۰ ABa	۴/۲۱ ABa	۴/۱۵ Aab	۴/۲۱ Ba	۴/۱۹ ABa	۴/۰۵ Bb	۴/۱۴ ABab	۴/۱۵ Bab	۴/۱۹ ABa
۱۶۰ °C-٪۲۰	۳/۸۰ BCc	۳/۸۰ BCc	۳/۸۰ BCd	۳/۹۶ DEb	۴/۰۵ CDa	۳/۸۰ CDd	۳/۹۵ CDb	۴/۰۲ Dab	۳/۸۵ Ccd	۳/۹۳ CDb	۴/۰۲ Cab	۴/۰۱ Ca
۱۶۰ °C-٪۳۰	۳/۷۳ Cc	۳/۷۳ Cc	۳/۷۳ Cab	۳/۸۵ EFab	۳/۹۰ Fa	۳/۷۱ Db	۳/۸۱ EFab	۳/۸۸ EFa	۳/۷۲ Db	۳/۸۴ CDEa	۳/۸۱ DEbc	۳/۸۲ Eab
۱۸۰ °C-٪۱۰	۴/۰۵ Aa	۴/۰۵ Aa	۴/۰۵ Aab	۴/۱۰ BCab	۴/۰۱ CDEa	۴/۱۰ Aab	۴/۱۸ Ba	۴/۱۳ BCa	۳/۸۴ Cc	۴/۰۸ Bab	۴/۰۶ BCa	۴/۱۸ Ba
۱۸۰ °C-٪۲۰	۳/۷۷ BCcd	۳/۷۷ BCcd	۳/۷۷ BCcd	۳/۸۹ DEFa	۳/۹۹ DEFa	۳/۷۶ CDcd	۳/۷۲ Fd	۳/۹۲ Eab	۳/۷۰ Dd	۳/۸۱ DEbc	۳/۷۱ EFd	۳/۹۲ Da
۱۸۰ °C-٪۳۰	۳/۷۱ Cc	۳/۷۱ Cab	۳/۷۱ Cbc	۳/۸۲ Fabc	۳/۷۶ Gab	۳/۶۹ Dc	۳/۹۲ Da	۳/۸۴ Fa	۳/۶۹ Dc	۳/۷۹ Ebc	۳/۷۰ Fb	۳/۸۱ Ea

اعداد جدول میانگین سه تکرار بوده و حروف لاتین غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بسته به تیمارها (حروف بزرگ) و بسته به زمان (حروف کوچک) است.

بررسی تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت مهارکنندگی رادیکالی یک ویژگی مهم به‌دلیل ممانعت از فعالیت رادیکال‌های آزاد در مواد غذایی و سیستم‌های بیولوژیکی بوده و نشان‌دهندهٔ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. براساس نتایج آنالیز داده‌ها اثر دمای خشک‌کردن و غلظت مالتودکسترین بر فعالیت بازدارندگی رادیکالی پودر عصارهٔ سماق معنی‌دار می‌باشد ($P<۰/۰۵$). درصد بازدارندگی پودر عصارهٔ سماق خشک‌شده به روش پاششی در محدودهٔ ۸۶-۸۹ درصد بود، که نشان‌دهندهٔ درصد بازدارندگی خوب پودرهای عصارهٔ سماق می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین نشان داد فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط مستقیم و تنگاتنگی با محتوای آنتوسیانین و ترکیبات فنولی مادهٔ موردنظر دارد (Fazaeli *et al.*, 2012; Nadeem *et al.*, 2011; Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk, 2011). سماق سرشار از آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها، تانن‌ها و آنتوسیانین‌ها می‌باشد (Kosar *et al.*, 2007). توانایی فعالیت آنتی‌اکسیدانی پلی‌فنول‌ها عمدتاً به‌دلیل گروه‌های هیدروکسیل آنها می‌باشد که ازطریق پایدارسازی رادیکال‌های آزاد، موجب ممانعت از اکسیداسیون لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA شده، بنابراین منجربه‌کاهش تأثیرات مخرب اکسیداسیون می‌گردند (Rice-Evans *et al.*, 1997). همان‌گونه که از جدول (۵) مشخص است با افزایش دمای خشک‌کردن و کاهش غلظت مالتودکسترین از میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر سماق کاسته شد. افزایش دما باعث کاهش ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حساس به حرارت شد و درنتیجه منجربه‌کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید. همچنین احتمالاً دماهای بالاتر، به‌طور معکوس ساختار ترکیبات فنولی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و منجربه شکستن یا سنتز آنها به شکل‌های مختلف می‌شود (احمدی‌راد و همکاران، ۱۳۹۵؛ Mishra *et al.*, 2014؛ Kha *et al.*, 2010؛ Quek *et al.*, 2007). با افزایش غلظت مالتودکسترین نیز به‌دلیل اثر محافظت‌کنندگی و ریزپوشانندگی مالتودکسترین، سبب حفاظت بیشتر از ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی خواهد شد و درنتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر عصارهٔ سماق افزایش می‌یابد (شهیدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Kha *et al.*, 2010). ازطرف‌دیگر، با افزایش غلظت مالتودکسترین به‌دلیل کاهش مقدار ترکیبات با فعالیت آنتی‌اکسیدانی موجود در سطح و همچنین افزایش اندازهٔ ذرات و کاهش سطح شست‌وشو، فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد (Wagner & Warthesen, 1995; Bhandari *et al.*, 1992). ازطرف‌دیگر برخی از محققان گزارش کرده‌اند که افزایش در غلظت مالتودکسترین که خود فعالیت بازدارندگی رادیکالی ندارد، منجربه‌کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود که احتمالاً به تأثیر رقیق‌سازی مالتودکسترین مربوط می‌شود (احمدی‌راد و همکاران، ۱۳۹۵؛ Mishra *et al.*, 2014).

بررسی تغییرات نگهداری طی زمان

تأثیر شرایط و زمان نگهداری بر ترکیبات فنولی پودر عصارهٔ سماق

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۴) مشخص شد که ترکیبات فنولی پودر عصارهٔ سماق در تمامی شرایط نگهداری، طی ۹۰ روز به‌صورت جزئی اما معنی‌دار افزایش یافته است ($P<۰/۰۵$). نتایج مشابهی توسط محققان به‌دست آمد (Flores *et al.*, 2014; Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk; 2011; Nohynek *et al.*, 2006; Mollen *et al.*, 2002) و آنها این افزایش را به‌دلیل تغییرات ساختاری در ترکیبات فنولی طی زمان نسبت دادند. همان‌گونه که از نتایج و داده‌ها (جدول۴) مشخص است، پس از ۹۰ روز نگهداری در شرایط مختلف، تغییرات ترکیبات فنولی پودرهای عصارهٔ سماق بدین‌ترتیب می‌باشد: در پودرهای نگهداری‌شده در شرایط تاریکی دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش ترکیبات فنولی در محدودهٔ ۵-۱ درصد و به‌صورت میانگین ۳ درصد، درمورد پودرهای نگهداری‌شده در شرایط روشنایی دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد این افزایش در محدودهٔ ۳/۳-۰/۶ درصد و به‌صورت میانگین ۱/۹۵ درصد و درنهایت افزایش ترکیبات فنولی پودرهای نگهداری‌شده در دمای تاریکی در ۶ درجهٔ سانتی‌گراد محدودهٔ ۵/۳۹-۲/۴ درصد و به‌صورت میانگین ۳/۸ درصد بود. به‌عبارت‌دیگر درصد افزایش میانگین ترکیبات فنولی در دماهای پایین‌تر، بیشتر از دماهای بالاتر و در

تاریکی بیشتر از روشنایی بود. بنابراین برای پایداری و یا حتی بهبود ترکیبات فنولی طی دوره‌های نگهداری طولانی‌مدت، نگهداری در شرایط دمای پایین و تاریکی مناسب‌تر می‌باشد. نتایج مشابهی توسط Fang و Bhandari (۲۰۱۱)، Bakowska-Barczak و Kolodziejczyk (۲۰۱۱)، Paini و همکاران (۲۰۱۵) و Wagner و Warthesen (۱۹۹۵) ارائه گردید. در این مطالعه مشخص شد که افزایش فنول پودر سماق در شرایط روشنایی کمتر از تاریکی بود، که این موضوع احتمالاً به‌دلیل تأثیر نور روی ترکیبات فنولی بود، زیرا نور باعث افزایش سرعت تجزیهٔ ترکیبات فنولی می‌شود (Paini *et al*. 2015; Pesek & Warthesen, 1987).

تأثیر شرایط و زمان نگهداری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر عصارهٔ سماق

براساس نتایج و داده‌های به‌دست‌آمده (جدول ۵) میزان تغییرات معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بعد از ۹۰ روز نگهداری، درمورد نمونه‌های نگهداری‌شده در شرایط تاریکی و دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و همچنین نمونه‌های تحت شرایط روشنایی و دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد بسیار جزئی و در حدود کمتر از ۱ درصد افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها بود. درمورد نمونه‌های نگهداری‌شده در شرایط تاریکی و دمای ۶ درجهٔ سانتی‌گراد میزان این تغییرات معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بعد از ۹۰ روز در حدود ۱ درصد افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرها بود که نسبت به سایر شرایط نگهداری مقدار بالاتری داشت. این نتایج نشان داد که در تمامی شرایط نگهداری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای عصارهٔ سماق پایدار بود چرا که افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی بعد از ۹۰ روز بسیار جزئی و حداکثر در حدود ۱ درصد بود. این نتایج مشابه نتایج Laine و همکاران (۲۰۰۸) بود. افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مطالعهٔ Ferrari و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شد که این افزایش را به هیدرولیز ترکیبات فنولی طی فراوری خشک‌کردن یا نگهداری نسبت دادند.

جدول۵- تأثیر تیمارها ، شرایط و زمان نگهداری بر مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر عصارهٔ سماق تهیه‌شده به روش خشک‌کن پاششی

زمان	روز ۱			روز ۳۰			روز ۶۰			روز ۹۰		
تیمار	نور، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۶ درجهٔ سانتی‌گراد	نور، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۶ درجهٔ سانتی‌گراد	نور، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۶ درجهٔ سانتی‌گراد	نور، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	تاریکی، ۶ درجهٔ سانتی‌گراد
۱۴۰ °C-٪۱۰	۸۸/۳۱ BCcd	۸۸/۳۴ BCDab	۸۸/۳۲ Ad	۸۸/۴۵ BCDbd	۸۸/۶۵ Ca	۸۸/۰۱ ABe	۸۸/۹۷ Aab	۸۸/۳۰ ABab	۸۸/۳۸ Ad	۸۸/۱۳ ABbc	۸۸/۳۸ ABab	۸۹/۹۷ Bb
۱۴۰ °C-٪۲۰	۸۸/۴۵ ABbc	۸۸/۴۵ ABb	۸۸/۴۳ Ade	۸۸/۸۳ ABb	۸۸/۱۶ Aa	۸۸/۳۰ ABe	۸۹/۲۶ Aa	۸۸/۵۳ ABb	۸۸/۵۴ Ad	۸۸/۸۳ ABb	۸۸/۴۵ ABb	۸۹/۳۲ ABb
۱۴۰ °C-٪۳۰	۸۸/۵۷ Ad	۸۸/۵۴ Ac	۸۸/۵۲ Ac	۸۹/۱۱ Ac	۸۸/۱۹ Aa	۸۹/۴۵ Ac	۸۹/۳۳ Ab	۸۸/۶۰ Abc	۸۸/۷۰ Ac	۸۹/۱۱ Ac	۸۸/۶۷ Abc	۸۹/۴۸ Ab
۱۶۰ °C-٪۱۰	۸۸/۱۶ Cd	۸۸/۲۵ CDa	۸۸/۲۳ Abcd	۸۸/۳۸ CDcd	۸۸/۴۸ Da	۸۸/۷۹ BCcd	۸۸/۹۲ Ab	۸۸/۷۷ Ba	۸۸/۱۶ Abcd	۸۸/۶۰ Bc	۸۸/۳۰ ABa	۸۸/۹۷ Bab
۱۶۰ °C-٪۲۰	۸۸/۳۵ ABCc	۸۸/۳۴ BCDc	۸۸/۳۴ Ac	۸۸/۵۳ BCDc	۸۸/۹۷ Ba	۸۸/۲۱ ABc	۸۸/۱۱ Aab	۸۸/۳۰ ABc	۸۸/۵۰ Ac	۸۸/۷۵ ABbc	۸۸/۳۸ ABbc	۸۹/۲۶ ABb
۱۶۰ °C-٪۳۰	۸۸/۴۵ ABcd	۸۸/۴۱ ABCc	۸۸/۴۲ Ab	۸۸/۸۲ ABbc	۸۹/۰ Ba	۸۸/۳۰ ABbc	۸۹/۱۹ Ab	۸۸/۴۵ ABbc	۸۸/۶۷ Ab	۸۹/۰۴ Ab	۸۸/۴۵ ABbc	۸۹/۴۱ ABa
۱۸۰ °C-٪۱۰	۸۸/۷۸ De	۸۸/۸۵ Eb	۸۸/۸۰ Aa	۸۸/۳۲ Dd	۸۸/۳۲ Ea	۸۸/۳۳ Ca	۸۸/۸۹ Ab	۸۸/۳۳ Bab	۸۸/۱۶ Aa	۸۸/۶۰ Bc	۸۸/۰۸ Bab	۸۸/۹۷ Ba
۱۸۰ °C-٪۲۰	۸۹/۹۰ Dd	۸۹/۹۵ Eb	۸۹/۹۳ Ad	۸۸/۴۹ BCDc	۸۸/۴۶ DEa	۸۹/۸۶ ABCd	۸۹/۰۴ Ab	۸۸/۳۰ ABa	۸۸/۴۵ Ac	۸۸/۷۰ AB	۸۸/۲۷ ABa	۸۹/۱۸ ABb
۱۸۰ °C-٪۳۰	۸۸/۱۹ Cc	۸۸/۱۹ Db	۸۸/۲۰ Acde	۸۸/۷۷ ABCb	۸۸/۶۶ Ca	۸۹/۹۶ ABCde	۸۹/۱۱ Ab	۸۸/۴۴ ABab	۸۸/۴۵ Acd	۸۸/۹۷ ABb	۸۸/۳۷ ABab	۸۹/۳۵ ABb

اعداد جدول میانگین دو تکرار بوده و حروف لاتین غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بسته به تیمارها (حروف بزرگ) و بسته به زمان (حروف کوچک) است.

نتایج برخی محققان حاکی از آن بود که در دماهای بالای نگهداری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمتر می‌شود؛ آنها دلیل آن را به کاهش در ترکیبات فنولی و آنتوسیانینی نسبت دادند (Fang & Bhandari, 2011). همچنین مشخص شد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌تنهایی با ترکیبات فنولی ارتباط ندارد، چرا که افزایش در ترکیبات فنولی طی دورهٔ نگهداری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی را تحت‌تأثیر قرار نداد (Flores *et al*., 2014; Aaby *et al*., 2007; Mullen *et al*., 2002). مطالعه‌های دیگری نشان دادند که ترکیبات فنولی تولیدشده در اثر حرارت طی تجزیه‌شدن یا پلیمریزه‌شدن، می‌توانند بخشی یا کل اُفت ناشی از کاهش آنتوسیانین مونومریک در فعالیت آنتی‌اکسیدانی را جبران کنند (Fischer *et al*., 2013). طبق مطالعهٔ Nicoli و همکاران (۱۹۹۹) مشخص شد که ترکیبات فنولی به‌صورت گروهی عمل می‌کنند، به این معنا که آنها با اثر هم‌افزایی فعالیت آنتی‌اکسیدانی همدیگر را حمایت می‌کنند. به‌عبارت‌دیگر ازدست‌رفتن ترکیبات فنولی اصلی می‌تواند با فنول‌های شکل‌گرفته با فعالیت آنتی‌اکسیدانی برابر یا بیشتر، جبران شود. همچنین آنها بیان نمودند که افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی طی نگهداری در تمامی نمونه‌ها می‌تواند رخ دهد، زیرا که طی بازهٔ زمانی نگهداری، ترکیبات جدید با فعالیت آنتی‌اکسیدانی و توانایی بازداری از رادیکال‌ها مانند، ترکیبات حد واسط تولیدشده طی واکنش مایلارد[1] می‌تواند آزادشده و یا شکل بگیرند (Nicoli *et al*., 1999). گزارش‌هایی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد، اکسیدشدن تانن‌های با قابلیت هیدرولیز، می‌تواند منجربه الیگومریزاسیون[2] ازطریق جفت‌شدن فنول‌ها شود و درنتیجه باعث افزایش تعداد مناطق واکنش و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردد (Bors & Michel, 2002). ازطرف‌دیگر هیدرولیزشدن تانن‌های با قابلیت هیدرولیز می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدانی را ازطریق افزایش‌دادن تعداد گروه‌های هیدروکسیل آزاد بهبود بخشد (Aaby *et al*., 2007).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش امکان تولید پودر عصارهٔ سماق با استفاده از خشک‌کن پاششی و تأثیر شرایط مختلف خشک‌کردن پاششی و شرایط نگهداری روی پودرهای تولیدی بررسی گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به‌غیراز شاخص تراکم‌پذیری و شاخص پیوستگی به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) تحت‌تأثیر دما و غلظت مالتودکسترین قرار گرفتند. نتایج نگهداری ۹۰ روزه حاکی‌از این بود که برای پایداری و یا حتی بهبود ترکیبات فنولی در نگهداری‌های طولانی‌مدت، نگهداری در شرایط دمای پایین و تاریکی ترجیح داده می‌شود. همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای عصارهٔ سماق در تمامی شرایط نگهداری پایدار بود، زیرا این افزایش بسیار جزئی بود. به‌طورکلی اگرچه با افزایش غلظت مالتودکسترین چسبندگی پودر کاهش و به‌تبع آن راندمان تولید پودر افزایش می‌یابد، اما به‌دلیل کاهش و رقیق‌شدن ترکیبات فنولی و افزایش هزینه‌ها، افزایش بیش‌ازاندازه در غلظت حامل توصیه نمی‌گردد و می‌توان غلظت مالتودکسترین ۲۰ درصد را به‌عنوان غلظت بهینه معرفی نمود. همچنین دماهای ورودی بالا، اگرچه باعث کاهش چسبندگی پودر و نیز بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی نظیر جریان‌پذیری پودر می‌شود، ولی به‌دلیل اُفت ترکیبات فنولی و ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، می‌توان دمای ۱۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد را به‌عنوان دمای بهینهٔ خشک‌کردن پاششی پودر عصارهٔ سماق معرفی نمود.

منابع

۱- احمدی‌راد، م.، امام‌جمعه، ز. و اسدی، ح. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن پاششی آب زغال‌اخته با استفاده از روش سطح‌پاسخ. علوم و صنایع غذایی ایران، ۵۰(۱۳):۶۷-۸۷.

[1] Maillard
[2] Oligomerization

۲- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۸۹. غلات و فراورده‌های آن ـ روش اندازه‌گیری رطوبت ـ روش مرجع. شمارهٔ ۲۷۰۵.

۳- شهیدی، ف.، وریدی، م.، محبی، م.، نوشاد، م. و خلیلیان‌موحد، م، ۱۳۹۳. بهینه‌یابی شرایط خشک‌کردن پاششی آب انار با استفاده از روش سطح-پاسخ. پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۲(۳):۱۲۹-۱۴۲.

4- Aaby, K.; Wrolstad, R.E.; Ekeberg, D., & Skrede, G. 2007. Polyphenol composition and antioxidant activity in strawberry purees; impact of achene level and storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(13):5156-5166.

5- Abdullah, E.C., & Geldart, D. 1999. The use of bulk density measurements as flowability indicators. Powder Technology, 102(2):151-165.

6- Azimi, A.A., Delnavaz, H.B., & Mansour, G.A. 2006. Antifungal effect of aqueous alcoholic and phenolic extracts of seed and leaves of sorghum bicolor against fusarium solani fusarium poa in persian. Medical Plant, 6(1):26-32.

7- Bakowska-Barczak, A.M., & Kolodziejczyk, P.P. 2011. Black currant polyphenols: their storage stability and microencapsulation. Industrial Crops and Products, 34(2):1301-1309.

8- Bhandari, B.R., Datta, N., D'Arcy, B.R., & Rintoul, G.B. 1998. Co-crystallization of honey with sucrose. LWT-Food Science and Technology, 31(2):138-142.

9- Bhandari, B.R., Dumoulin, E.D., Richard, H.M.J., Noleau, I., & Lebert, A.M. 1992. Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate. Journal of Food Science, 57(1):217-221.

10- Boonyai, P., Bhandari, B., & Howes, T. 2004. Stickiness measurement techniques for food powders: a review. Powder Technology, 145(1):34-46.

11-Bors, W., & Michel, C. 2002. Chemistry of the antioxidant effect of polyphenols. Annals of the New York Academy of Sciences, 957(1):57-69.

12-Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology, 28(1):25-30.

13-Çam, M., Içyer, N.C., & Erdogan, F. 2014. Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. LWT-Food Science and Technology, 55(1):117-123.

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

15-Desai, K.G.H., & Jin Park, H. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. Drying Technology, 23(7):1361-1394.

16-Embuscado, M.E. 2015. Spices and herbs: natural sources of antioxidants-a mini review. Journal of Functional Foods, 18(B):811-819.

17-Ersus, S., & Yurdagel, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*daucus carota* L.) by spray drier. Journal of Food Engeeniring, 80(3):805-812.

18-Fang, Z., & Bhandari, B. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. Food Chemistry, 129(3):1139-1147.

19-Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., & Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. Food and Bioproducts Processing, 90(4):667-675.

20-Ferrari, C.C., Marconi Germer, S.P., Alvim, I.D., & de Aguirre, J.M. 2013. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. Drying Technology, 31(4):470-478.

21-Fischer, U.A., Carle, R., & Kammerer, D.R. 2013. Thermal stability of anthocyanins and colourless phenolics in pomegranate (*punica granatum* L.) juices and model solutions. Food Chemistry, 138(2-3):1800-1809.

22-Fitzpatrick, J.J. 2005. Food powder flowability. Power Handing and Analysis. P: 247-260. In C. Onwulata (Ed.), Encapsulated and powdered foods. New York, UK.

23-Flores, F.P., Singh, R.K., & Kong, F. 2014. Physical and storage properties of spray-dried blueberry pomace extract with whey protein isolate as wall material. Journal of Food Engineering, 137:1-6.

24-Giancarlo, S., Rosa, L.M., Nadjafi, F., & Francesco, M. 2006. Hypoglycaemic activity of two spices extracts: rhus coriaria L. and bunium persicum boiss. Natural Product Research, 20(9):882-886.

25-Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11(2):342-351.

26-Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2008a. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. drying kinetics and product recovery. Drying Technology, 26(6):714-725.

27-Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2008b. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. powder properties. Drying Technology, 26(6):726-737.

28-Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: Π. the effect on powder properties. Journal of Food Engineering, 66(1):35-42.

29-Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., & Kazakis, N.A. 2004. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. Drying Technology, 22(5):1129-1151.

30-Gündüz, G.T., Gönül, S.A., & Karapinar, M. 2010. Efficacy of sumac and oregano in the inactivation of *salmonella* typhimurium on tomatoes. International Journal of Food Microbiology, 141(1-2):39-44.

31-Jinapong, N., Suphantharika, M., & Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. Journal of Food Engineering, 84(2):194-205.

32-Kanakdande, D., Bhosale, R., & Singhal, R.S. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. Carbohydrate Polymers, 67(4):536-541.

33-Kha, T.C., Nguyen, M.H., & Roach, .P.D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. Journal of Food Engeeniring, 98(3):385-392.

34-Kosar, M., Bozan, B., Temelli, F., & Baser, K.H.C. 2007. Antioxidant activity and phenolic composition of Sumac (*rhus coriaria* L.) extracts. Food Chemistry, 103(3):952-959.

35-Krishnan, S., Bhosale, R., & Singhal, R.S. 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. Carbohydrate Polymers, 61(1):95-102.

36-Laine, P., Kylli, P., Heinonen, M., & Jouppila, K. 2008. Storage stability of microencapsulated cloudberry (*rubus chamaemorus*) phenolics. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(23):11251-11261.

37-Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C.L. 2014. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*emblica officinalis*) juice powder. Food and Bioproducts Processing, 92(3):252-258.

38-Moreira, G.E.G., Costa, M.G.M., de Souza, A.C.R., de Brito, E.S., de Medeiros, M.D.F.D., & de Azeredo, H.M.C. 2009. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. LWT-Food Science and Technology, 42(2):641-645.

39-Mullen, W., Stewart, A.J., Lean, M.E.J., Gardner, P., Duthie, G.G., & Crozier, A. 2002. Effect of freezing and storage on the phenolics, ellagitannins, flavonoids, and antioxidant capacity of red raspberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(18):5197-5201.

40-Nadeem, H.S., Torun, M., & Ozdemir, F. 2011. Spray drying of the mountain tea (*sideritis strica*) water extract by using different hydrocolloid carriers. LWT-Food Science and Technology, 44(7):1626-1635.

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

42-Nohynek, L.J., Alakomi, H., Kahkonen, M.P., Heinonen, M., Helander, I.M., Oksman-Caldentey, K., & Puupponen-Pimia, R.H. 2006. Berry phenolics: antimicrobial properties and mechanisms of action against severe human pathogens. Nutrition and Cancer, 54(1):18-32.

43-Paini, M., Aliakbarian, B., Casazza, A.A., Lagazzo, A., Botter, R., & Perego, P. 2015. Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: a study of operative parameters. LWT-Food Science and Technology, 62(1):177-186.

44-Pesek, C.A., & Warthesen, J.J. 1987. Photodegradation of carotenoids in a vegetable juice system. Journal of Food Science, 52(3):744-746.

45-Quek, S.Y., Chok, N.K., & Swedland, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 46(5):386-392.

46-Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends in Plant Science, 2(4):152-159.

47-Santhalakshmy, S., Bosco, S.J.D., Francis, S., & Sabeena, M. 2015. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. Powder Technology, 274:37-43.

48-Scoville, E., & Peleg, M. 1981. Evaluation of the effect of liquid bridges on the bulk properties of model powders. Journal of Food Science, 46(1):174-177.

49-Shahidi, F., & Han, X.Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. Critical Review in Food Science and Nutrition, 33(6):501-547.

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

51-Wagner, L.A., & Warthesen, J.J. 1995. Stability of spray dried encapsulated carrot carotenes. Journal of Food Science, 60(5):1048-1053.

Investigating Characteristics of Encapsulated Sumac Extract Powder with Spray Drying and the Effect of Different Storage Conditions on its Phenolic Compounds and Antioxidant Activity

Nasrin Malekizadeh[1], Seyed Hadi Peighambardoust[2*], Aref Oladghaffari[3], Khashayar Sarabandi[4]

1- MSc graduated, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- Professor of Food Technology, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
* Corresponding author (peighambardoust@tabrizu.ac.ir)
3- Academic Staff of Food Research Group, Food and Agriculture Research Department, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran
4- PhD Student, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Due to the microbial problems arising from the maintenance of spices and also flavor and color losses of the product during storage, encapsulation of spices extract is an appropriate solution that has been suggested by some researchers. Three different inlet air temperatures (140, 160 and 180 °C) and different maltodextrin (DE=18-20) concentrations (10, 20 and 30%) on bulk and tapped density, flow-ability, total phenolic content and antioxidant activity of spray dried sumac powders were investigated. Also the phenolic content and antioxidant activity, in three different storage conditions (light 20 °C, darkness 20 °C and 6 °C) for 90 days were investigated. The results demonstrated that with increasing inlet air temperature and maltodextrin concentration, the flow- ability of samples increased, while bulk density, tapped density and total phenolic content decreased. The antioxidant activity of the samples also decreased with increasing inlet air temperature and decreasing maltodextrin concentration. Considering 90-days storage results, lower temperatures in darkness conditions, seems to be the best choice for a long period storage of the spray dried sumac powders.

Keywords: Microencapsulation, Properties, Spray drying, Storage, Sumac

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۳۰۸-۲۹۷

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

بهینه‌یابی ویژگی‌های دونات غنی‌شده با پودر پالپ پرتقال

عاطفه یوسفی[۱]، بهزاد ناصحی[۲و۳*]، حسن برزگر[۴]

۱- دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
* نویسندهٔ مسئول (Nasehi.b@pnum.ac.ir)
۴- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵

واژه‌های کلیدی
پالپ پرتقال
دونات تخمیری
صمغ
فیبر

چکیده

دونات نوعی میان‌وعدهٔ شیرین است که به‌طور معمول به‌صورت تخمیری تهیه و به روش غوطه‌وری سرخ می‌شود. بنابراین ازجمله مشکلات آن جذب مقدار زیادی روغن می‌باشد که باید با ابداع روش‌هایی از مقدار آن کاست. دراین‌راستا در این پژوهش اثر پودر پالپ پرتقال در دامنهٔ صفر تا ۱۲/۵ درصد و هیدروکلوئید زانتان در بازهٔ صفر تا ۱/۵ درصد بر ویژگی‌های دونات به روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار پودر پالپ پرتقال و صمغ زانتان، میزان رطوبت، خاکستر، فیبر خام، چگالی، شاخص زردی و قرمزی پوسته و مغز، تباین، همبستگی، آنتروپی، سفتی، صمغیت، قابلیت جویدن و پذیرش کلی افزایش و چربی، روشنایی پوسته و مغز، همگنی، نرمی بافت، پیوستگی، پوکی و تخلخل کاهش یافت. بررسی تیمارها حاکی‌از آن است که جایگزینی ۱۰/۷۳ درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۰۴ درصد صمغ زانتان سبب کاهش جذب روغن، افزایش فیبر و تولید دونات سلامتی بخش خواهد شد.

مقدمه

دونات نوعی میان‌وعدهٔ شیرین است که به‌صورت شیمیایی یا تخمیری یا تلفیق این دو تهیه و به‌صورت عمیق سرخ می‌شود. این محصول برای اولین‌بار در آلمان و هلند تهیه شد. دونات از دو قسمت خارجی و بخش داخلی تشکیل شده است. بخش سرخ‌شده در سطح است که مستقیم در تماس با روغن قرار می‌گیرد. این قسمت بیشترین دفع رطوبت و بیشترین جذب روغن را دارد، بنابراین ترد و به رنگ قهوه‌ای طلایی است (دهقان تنها و همکاران، ۱۳۹۴). ازآنجایی‌که این فراورده به روش غوطه‌وری سرخ می‌شود، مقدار زیادی روغن جذب می‌کند. به‌طوری‌که محتوی چربی دونات بسته به نوع فرمول و شرایط فراوری بین ۱۰ تا ۲۶ درصد است. مقدار جذب روغن از شاخص‌های مهم تعیین کیفیت مواد غذایی سرخ‌شده است. درحال‌حاضر، یکی از مهم‌ترین مشکلات اصلی این گروه از فراورده‌ها میزان بالای چربی آنهاست که با تمایل مصرف مواد غذایی رژیمی و کم‌چرب ناسازگار است. بدیهی است که کم تحرکی و مصرف بیش از حد چربی منجربه‌افزایش کلسترول خون، فشارخون، بیماری‌های قلبی عروقی، چاقی و برهم‌خوردن تعادل وزنی می‌شود (عجم و همکاران، ۱۳۹۵). ازجمله راه‌های کاهش جذب روغن استفاده از هیدروکلوئیدهاست. دراین‌راستا ازآنجایی‌که صمغ زانتان نسبت به سایر هیدروکلوئیدها دارای ویسکوزیتهٔ بالا در غلظت و سرعت برش کم، مدول الاستیک بالا، رفتار رئولوژی سودوپلاستیک، عدم حساسیت به حرارت و سازگار با نمک می‌باشد، موردتوجه است

(ماربینی و همکاران، ۱۳۹۵). پالپ پرتقال به‌عنوان یک پسماند صنعتی دارای ۷/۹ درصد رطوبت، ۸/۹۳ درصد پروتئین، ۱/۸۵ درصد لیپید، ۲/۹۴ درصد خاکستر، ۸۶/۳ درصد کربوهیدرات، فیبر کل ۶۳/۶ برحسب گرم در ۱۰۰ گرم مادهٔ خشک است (de Moraes Crizel *et al*., 2013). پالپ پرتقال یکی از منابع عالی فیبرهای رژیمی محلول و نامحلول است. همچنین پکتین آن ویژگی‌های عملکردی بسیارخوب مثل قابلیت اتصال به قسمت آب و روغن (خاصیت امولسیفایری) را دارا می‌باشد (Wallecan *et al*., 2015). در طی سال‌های گذشته پژوهش‌های زیادی درجهت بهبود کیفیت دونات و غنی‌کردن آن با ترکیبات فیبری و یا سایر مواد مغذی انجام شده است. به‌عنوان مثال می‌توان به بررسی اثر موادی مانند پودر تفالهٔ هویج (Nouri *et al*., 2017)، پودر باگاس نیشکر (داراپور، ۱۳۹۶) بر ویژگی‌های دونات اشاره کرد. بنابراین هدف این مقاله بررسی اثر افزودن پودر پالپ پرتقال بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، تصویری، حسی و بافتی دونات تخمیری است.

مواد و روش‌ها

مواد مورد نیاز

مواد اولیه شامل آرد گندم با درجهٔ استخراج ۷۲ درصد (کارخانهٔ آرد جنوب، اهواز)، شکر (کشت و صنعت هفت تپه، شوش)، چربی قنادی (شرکت بهینه وزین، هشتگرد)، مخمر (شرکت خمیر مایه رضوی، مشهد)، بیکینگ‌پودر (شرکت هرمین، شهریار) تخم‌مرغ کامل (شرکت تلاونگ، تهران)، نمک بدون‌ید (شرکت اسپیدان، فارس)، شیرخشک بدون‌چربی (شرکت پگاه، مشهد) تهیه گردید. تمام مواد و محلول‌های شیمیایی موردنیاز جهت آزمون‌ها از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

برای تهیهٔ پودر پالپ پرتقال، تفالهٔ حاصل از آب‌گیری از پرتقال دزفول به سرعت و به‌منظور جلوگیری از تخمیر، در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد و به مدت ۲۴۰ دقیقه خشک شد. در مرحلهٔ بعدی آنها توسط آسیاب آشپزخانه با نام تجاری مولینکس به اندازهٔ خیلی ریز و پودری (<۳۵۵ میکرومتر) آسیاب شد و در دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند.

آماده‌سازی دونات

نمونه‌ها براساس فرمول جدول (۱)، تهیه شدند (Melito & Farkas, 2012).

جدول ۱ - مواد تشکیل‌دهندهٔ فرمول دونات

ترکیبات	وزن (گرم)
آرد گندم	۷۵/۶۰
آب	۲۸/۳۵
شورتنینگ	۱۴/۱۸
شکر	۴/۷۳
تخم‌مرغ	۹/۴۵
مخمر خشک فعال	۲/۲۵
شیرخشک بدون‌چربی	۴/۷۳
بیکینگ‌پودر	۱/۱۸
نمک بدون‌ید	۰/۸۰

جهت تهیهٔ دونات ابتدا شکر، نمک، مخمر، شیرخشک بدون‌چربی و کره در داخل کاسه‌ای با همزن برقی با دور بسیار سریع به مدت ۱ دقیقه مخلوط شد. سپس تخم‌مرغ به مخلوط اضافه و به مدت ۱ دقیقه توسط همزن برقی با دور سریع مخلوط شد. در ادامه آب اضافه و با دور آهسته به مدت ۳۴ ثانیه مخلوط شد. در یک ظرف جداگانه آرد گندم، پودرخشک پالپ پرتقال، بیکینگ‌پودر و صمغ زانتان مخلوط و آرام به کاسهٔ همزن اضافه شدند تا خمیر مطلوبی حاصل شود. سپس سطح آن با کاغذ واکسی پوشیده شد تا به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد تخمیر شود. مرحلهٔ بعدی، خمیر در ظرفی به ضخامت ۱ سانتی‌متر با وردنه صاف شد تا با قالب مربعی به قطعه‌های مربع‌شکل تقسیم شود. سپس روی آن با سلوفان پوشیده شد و به مدت ۱۵ دقیقه برای طی مرحلهٔ دوم تخمیر در دمای ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. در ادامه دونات در مخزن سرخ‌کن با دمای ۲±۱۸۰ درجل سانتی‌گراد غوطه‌ور شد تا هر طرف آن به مدت ۷۰ ثانیه سرخ شود. در پایان دونات روی کاغذهای جاذب به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت تا علاوه‌بر حذف روغن سطحی، خنک شوند (Melito & Farkas, 2012).

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

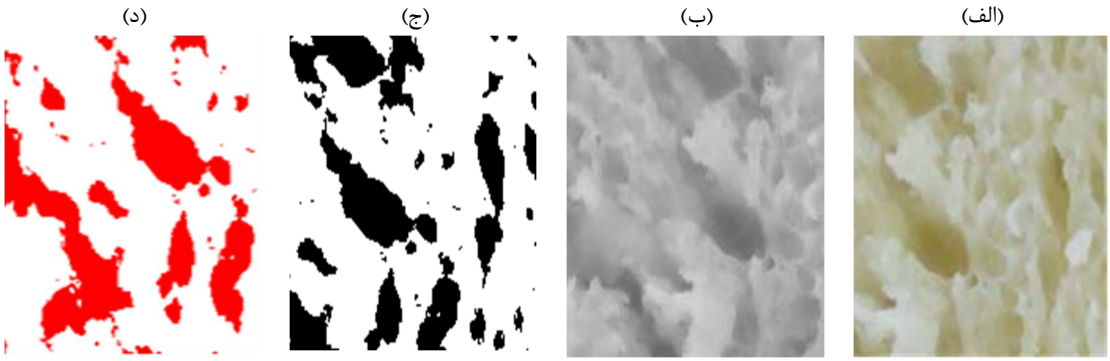
رطوبت با استفاده از روش شمارهٔ ۱۶-۴۴، خاکستر از

روش شمارهٔ ۰۱-۰۸، چربی به روش ۲۵-۳۰، AACC (۱۹۹۹) اندازه‌گیری شد. فیبر با روش ۹۹۱-۴۳ AOAC (۲۰۰۰) ارزیابی شد. حجم نمونه‌های دونات با استفاده از روش جابه‌جایی دانهٔ ارزن به روش (Segundo *et al*., 2017) محاسبه شد.

ویژگی‌های بینایی

در این پژوهش شاخص‌های رنگ پوسته و مغز و توصیف‌گرهای بافت سطحی شامل انرژی، تباین[1]، همبستگی[2]، همگنی[3] و انتروپی[4] با روش الگوریتم ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری به‌عنوان ویژگی‌های بینایی دونات تعیین شدند. بدین‌منظور نمونه‌ها با استفاده از یک سیستم تحلیل تصویر شامل یک دوربین تصویربرداری دیجیتال (Canon، ساخت ژاپن) و یک کامپیوتر شخصی موردمطالعه قرار گرفتند. تصاویر از یک فاصلهٔ ثابت ۳۰ سانتی‌متری از نمونه‌ها درون یک جعبهٔ سیاه (با ابعاد تقریبی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ سانتی‌مترمکعب) و با نورپردازی با زاویهٔ ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد توسط لامپ‌های فلوئورسنتی گرفته شد.

بدین‌منظور از هر تیمار ۳ نمونه و از هر نمونه چندین تصویر از مغز نمونه‌ها تهیه و به فرم رنگی (۲۴ بیتی[5]) ذخیره شد. تصاویر تهیه‌شده با نرم‌افزار ایمیج‌جی[6] ارزیابی شدند. با فعال‌کردن قسمت ۸ بیت، تصاویر سطح خاکستری ایجاد شد (شکل ۱). جهت تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی[7]، پس از بهبود تباین، تصاویر آستانه‌گیری‌شده و عملیات بخش‌بندی براساس الگوریتم اتسو[8] صورت پذیرفت (Nouri *et al*., 2017).



شکل ۱ - مراحل پردازش تصویر (الف) تصویر اولیه، (ب) تصویر ۸ بیتی با مقیاس خاکستری، (ج) تصویر باینری و (د) تصویر در مرحلهٔ آستانه‌گیری

ویژگی‌های حسی

آزمون حسی با استفاده از روش پیشنهادی رجب‌زاده (۱۳۷۱) انجام شد. خصوصیات حسی دونات ازنظر نرمی بافت، قابلیت ارتجاعیت، قابلیت جویدن، پوکی، تخلخل و پذیرش کلی توسط ۱۶ داور آموزش‌دیدهٔ مرد و زن (۲۴ تا ۳۰ سال) مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب ارزیابی صفات نیز از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۵) بود.

تجزیه‌وتحلیل آماری

نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب[9] نسخهٔ ۱۶ بر پایهٔ طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر (CCRD)[10] مورد ارزیابی قرار گرفت. دو متغیر مورد آزمایش در این پژوهش شامل پودر پالپ پرتقال (۰-۱۲/۵ درصد) و صمغ زانتان (۰-۱/۵ درصد) در قالب ۱۳ تیمار بررسی شدند. به‌منظور یافتن نمونهٔ بهینه از روش بهینه‌یابی هم‌زمان به کمک توابع

[1] Contrast
[2] Correlation
[3] Homogeneity
[4] Entropy
[5] Bit
[6] Image-J
[7] Binary
[8] Otsu
[9] Minitab
[10] Central Composite Rotatable Design

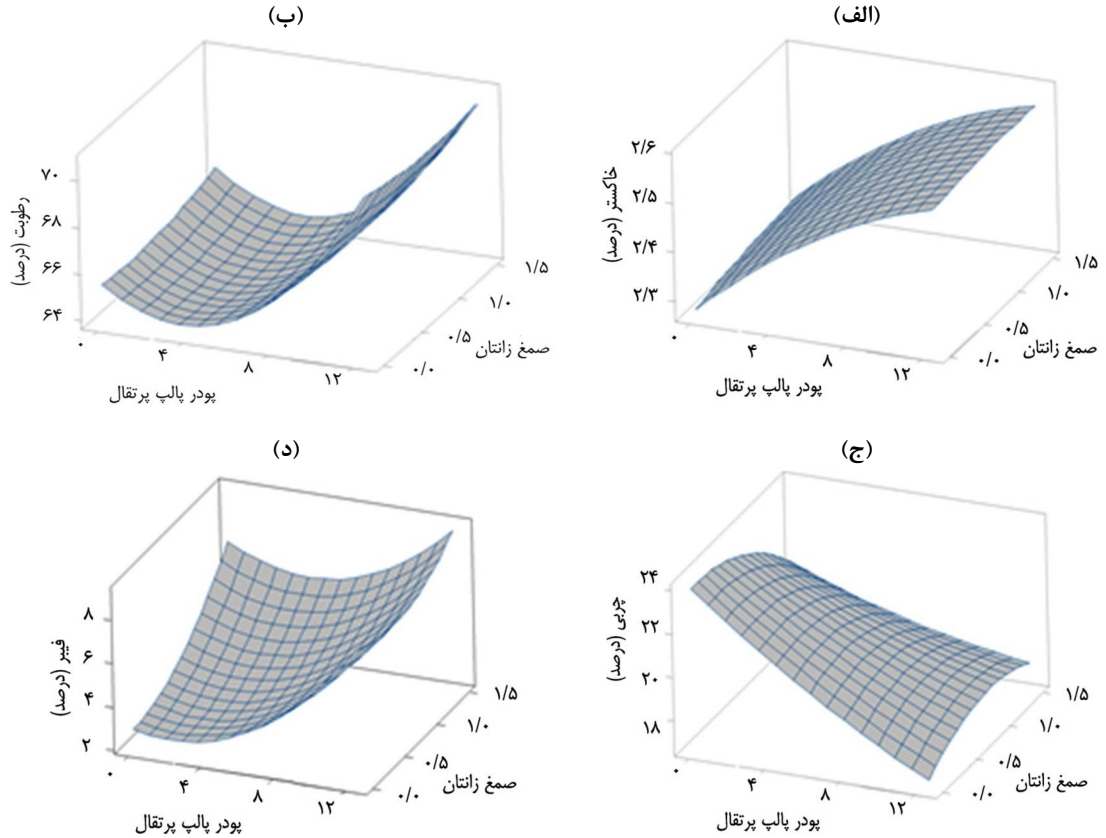
مطلوبیت[1] استفاده شد. در ابتدا هر پاسخ Y_i تبدیل به یک تابع مطلوبیت اختصاصی d_i می‌شود که می‌تواند از صفر تا ۱ متغیر باشد ($0 \leq d_i \leq 1$) (Asfaram *et al.*, 2015). سپس مطلوبیت کل (D) از ترکیب مطلوبیت با استفاده از میانگین هندسی تک‌تک توابع اختصاصی مطلوبیت به‌دست می‌آید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

خاکستر

بررسی تغییرات خاکستر نمونه‌ها باتوجه‌به شکل (۲-الف)، نشان داد که میزان پودر پالپ پرتقال تأثیر خطی معنی‌داری ($P<0/001$) در افزایش میزان خاکستر داشت که این افزایش به‌دلیل وجود املاح معدنی مانند آهن، منیزیم، روی و مس در پودر پالپ پرتقال است (Ngadze *et al.*, 2017). همچنین مدل درجهٔ دوم برازش‌شده برای پاسخ خاکستر معنی‌دار بود ($P<0/05$). اثر خطی صمغ زانتان و اثر درجهٔ دوم پودر پالپ پرتقال و صمغ زانتان معنی‌دار نبود Crizel و همکاران (۲۰۱۳) اثر فیبر رژیمی حاصل از محصولات جانبی پرتقال مثل پوست آن را به‌عنوان یک جایگزین‌کنندهٔ چربی مورد ارزیابی قرار دادند و در این مطالعه مشاهده شد که با افزودن پوست پرتقال به‌عنوان فیبر رژیمی در محصولات پخت میزان خاکستر تا ۳/۰۳ درصد افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۲ - نمودارهای سطح پاسخ تأثیر متغیرهای فرمول بر ترکیبات شیمیایی

رطوبت

ارزیابی داده‌های مربوط به رطوبت در شکل (۲-ب)، نشان داد که میزان پودر پالپ پرتقال تأثیر خطی و درجهٔ دوم معنی‌داری ($P<0/001$) بر میزان رطوبت دونات دارد، اما صمغ زانتان و اثر متقابل صمغ و پودر اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشت. پژوهش Nouri

[1] Desirability Functions

و همکاران (۲۰۱۷)، درخصوص اثر افزودن پودر تفالهٔ هویج و صمغ فارسی بر خصوصیات دونات نشان داد که تأثیرهای مثبت خطی این دو متغیر روی رطوبت به توانایی بالای نگهداری آب توسط آنها نسبت داده شده است. همچنین در این پژوهش نشان داده شد که ویژگی‌های رطوبتی نظیر ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت باندشدگی بالا به‌خاطر جذب آب بالا توسط این فیبر می‌باشد.

چربی

همان‌طوری‌که در شکل (۲-ج) ملاحظه می‌شود، همگام با افزایش پودر پالپ پرتقال از مقدار جذب روغن تیمارها کاسته شد. احمدی بلوطکی و ناصحی (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان بررسی تأثیر افزودن پودر خشک پالپ پرتقال بر ویژگی‌های آرد، خمیر و نان بربری دریافتندکه به‌طورکلی افزودن فیبر پالپ پرتقال باعث کاهش چربی در نان بربری شد. به‌طوری‌که نمونهٔ شاهد بیشترین و تیمار دارای ۸ درصد پودر پالپ پرتقال کمترین میزان چربی را به خود اختصاص داد. مطالعهٔ Zeng و همکاران (۲۰۱۶) درمورد کاهش چربی خمیر فیش‌بال[1] طی سرخ‌کردن عمیق با استفاده از فیبر رژیمی جوانهٔ بامبو حاکی‌از آن است که چربی پوسته و مغز نمونه به‌طور معنی‌داری در طول سرخ‌کردن کاهش یافت. صمغ زانتان در فرایند سرخ‌کردن در دمای بالا با ایجاد یک فیلم مسدودکننده سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب و مانع مهاجرت روغن به داخل پوسته می‌شود. بنابراین جذب روغن در طی سرخ‌کردن دونات کاهش می‌یابد (Shih *et al*., 2001; 2005).

فیبر

باتوجه‌به اینکه پودر پالپ پرتقال محتوی فیبرهای رژیمی محلول شامل پکتین و نامحلول شامل سلولز است، بنابراین پودر پالپ پرتقال باتوجه‌به شکل (۲-د) اثر خطی و درجهٔ دوم روی درصد فیبر در سطح (P<۰/۰۵) مثبت و معنی‌دار شد. اثر درجهٔ اول و دوم صمغ زانتان و اثر متقابل پودر و صمغ زانتان در هیچ سطحی معنی‌دار نشد. عمدهٔ فیبر موجود در پالپ پرتقال، فیبرهای رژیمی نامحلول هستند، البته مصرف هر دو نوع فیبر سبب تأثیرهای مثبت فیزیولوژیک مثل کاهش کلسترول خون و کاهش سطح جذب گلوکز در دستگاه گوارش می‌شود. فیبرهای پالپ پرتقال دارای ظرفیت بالایی نگهداری آب هستند که نه تنها ویسکوزیتهٔ غذا را افزایش می‌دهند، بلکه سبب بهبود و حفظ طعم، عطر و بوی محصولات می‌شود (de Moraes Crizel *et al*., 2013).

دانسیته

افزودن پودر پالپ پرتقال دارای یک اثر خطی منفی و معنی‌داری (P<۰/۰۵) بر دانسیتهٔ دونات‌ها داشت. اثر درجهٔ دوم صمغ زانتان و اثرات متقابل این دو متغیر بر دانسیتهٔ دونات‌ها در هیچ سطحی معنی‌دار نبود. پژوهش Rubel و همکاران (۲۰۱۵) با عنوان تأثیر اینولین غدهٔ سیب‌زمینی بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر و کیفی نان نشان داد که با افزودن این فیبر رژیمی، حجم مخصوص نان کاهش می‌یابد. علت آن کاهش توانایی شبکهٔ گلوتن، نشاسته و فیبر برای نگهداری گاز دی‌اکسید کربن و پایدار نگه‌داشتن ساختار سلول‌های گاز است (Rubel *et al*., 2015). در واقع فیبرهای رژیمی به‌دلیل اتصال به شبکهٔ گلوتنی، باعث آسیب سلول‌های نگهداری گاز دی‌اکسید کربن می‌شود که نتیجهٔ آن کاهش حجم مخصوص فراورده است (Morris & Morris, 2012). افزودن فیبر باگاس نیشکر به فرمولاسیون دونات، سبب افزایش ضخیم دیوارهٔ سلول‌های گاز و کاهش هوای محبوس‌شده در خمیر می‌شود، بنابراین، حجم کاهش و سفتی مغز در فراوردهٔ نهایی افزایش می‌یابد (داراپور، ۱۳۹۶). افزودن پودر تفالهٔ هویج به فرمولاسیون دونات یک اثر خطی منفی معنی‌داری روی حجم دونات داشت. با افزودن این فیبر به فرمولاسیون، ضخیم‌شدن دیوارهٔ سلول‌های نگهدارندهٔ گاز دی‌اکسید کربن در خمیر حاصل گردید که درنتیجه سبب کاهش حجم مخصوص و افزایش سفتی مغز دونات می‌شود (Nouri *et al*., 2017).

ویژگی‌های بینایی

بررسی جدول (۲)، درمورد پاسخ‌های رنگ‌سنجی (فاکتورهای L^*، a^*، b^*) پوسته و مغز دونات نشان

[1] Fish ball

می‌دهد که مدل‌ها برای شاخص L^* و a^* پوسته در سطح (P<۰/۰۵) و برای فاکتور b^* در سطح (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد. همچنین مدل درجهٔ دوم برای فاکتور L^* و a^* مغز دونات در سطح (P<۰/۰۱) و برای فاکتور b^* در سطح (P<۰/۰۵) معنی‌دار شد. بررسی ضریب R^2 حاکی‌از آن است که مقدار آن بالا و معنی‌دار است. اما اثر درجهٔ اول پودر پالپ پرتقال تأثیر معنی‌داری در فاکتور روشنایی پوسته نداشت و با افزایش میزان پودر، میزان روشنایی از ۵۵/۰۸ تا ۴۴/۱۶ کاهش یافت. صمغ زانتان بر شاخص روشنایی دارای یک اثر خطی مثبت و معنی‌دار در سطح (P<۰/۰۱) بود. اثر درجهٔ دوم پودر پالپ پرتقال و اثر متقابل صمغ و پودر معنی‌دار نشد. اما اثر درجهٔ دوم صمغ در سطح (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد. اثر متغیرهای فرمول بر فاکتورهای a^* و b^* پوسته در هیچ سطحی معنی‌دار نشد. رنگ یکی از پارامترهای مهم در بررسی کیفیت مواد غذایی است. پالپ پرتقال در طول خشک‌شدن در آون به‌دلیل انجام واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی، تیره‌ترشده و باعث کاهش روشنایی محصول می‌شود، همچنین فرایند سرخ‌کردن سبب کاهش فاکتور L^* و افزایش فاکتور a^* می‌شود. در واقع استفاده از دمای بالا سبب وقوع واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی و کاراملی‌شدن می‌شود (de Moraes Crizel *et al*., 2013). علاوه‌بر این تفاوت رنگ‌های به‌وجودآمده در تیمارها به درجهٔ ازدست‌دادن رطوبت و جذب چربی نیز مربوط می‌شود. ازآنجایی‌که محتوای رطوبت عامل کلیدی مؤثر در واکنش‌های مایلارد و کاراملی‌شدن است، ازدست‌رفتن آن در طول سرخ‌کردن باعث انجام این واکنش‌ها می‌شود (Zeng *et al*., 2016; Brennan *et al*., 2013). صمغ زانتان باعث روشن‌ترشدن سطح بافت می‌شود که علت آن این است که افزودن هیدروکلوئیدها به فرمول باعث حفظ و توزیع آب در فرمول می‌شود که این موجب کنترل سرعت واکنش‌های کاراملی‌شدن و مایلارد و افزایش روشنایی سطح می‌شود (Hejrani *et al*., 2017). در پژوهش Rubel و همکاران (۲۰۱۵) مقدار روشنایی پوسته کاهش و شاخص‌های قرمزی و زردی پوستهٔ نان در اثر افزودن اینولین غدهٔ سیب‌زمینی افزایش یافت.

جدول ۲ - ضرایب رگرسیون معادله‌های درجهٔ دوم پاسخ‌های رنگ‌سنجی پوسته و مغز دونات

منبع	پوسته			مغز		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
β_0	۴/۸۳*	۱/۲۹ns	۳/۳۹ns	۴/۴۳ns	۱۱/۴۴**	۴/۷۰*
β_1	۰/۲۴ns	۱/۳۱ns	۴/۹۶ns	۱/۳۹ns	۲۱/۰۵**	۸/۷۲*
β_2	۹/۲۲**	۰/۴۰ns	۰/۱۹ns	۱/۶۹ns	۰/۱۸**	۰/۱۰ns
$\beta_1\beta_1$	۲/۲۲ns	۰/۰۷ns	۰/۲۵ns	۰/۱۷ns	۱۷/۹۵**	۳/۷۹ns
$\beta_2\beta_2$	۱۳/۰۷**	۱/۰۴ns	۰/۸۸ns	۰/۷۶ns	۰/۲۲ns	۰/۱۱ns
$\beta_1\beta_2$	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۱ns	۰/۰۶ns	۰/۰۳ns
Model (P-value)	۴/۳۲*	۵/۶۷*	۹/۹۵**	۷/۴۳**	۶/۷۲**	۵/۴۹*
Lack of fit (P-value)	۱۸/۵۵*	۱۷۱/۰۳**	۷۴/۵۰*	۸۰/۳۷*	۳۲/۵۰**	۱۲/۱۰*
R^2	۷۵/۵۴	۸۰/۱۹	۸۷/۶۶	۸۴/۱۵	۸۲/۷۵	۷۹/۶۸
R^2-Adj	۵۸/۰۸	۶۶/۰۴	۷۸/۸۵	۷۲/۸۳	۷۰/۴۳	۵۶/۱۶
Cv (%)	۷/۳۴	۱۹/۵۸	۷/۶۵	۵/۰۸	-۳۳/۱۰	۵/۲۰
PRESS	۰/۲۵۹۹۱۰	۰/۱۵۲۵۶۷	۸۰/۸۴۶	۱۷۴/۰۵۶	۶۱/۵۳۲۷	۲۹/۵۸۴۹

β_0: مقدار ثابت؛ β_1: پودر پالپ پرتقال؛ β_2: صمغ زانتان

ns، * و **، به‌ترتیب نشانهٔ عدم معنی‌داری در (P<۰/۰۵)، (P<۰/۰۱) و (P<۰/۰۰۱) می‌باشد.

نتایج بررسی پاسخ‌های رنگ‌سنجی مغز دونات نشان داد که کمترین مقدار فاکتور L^* مربوط به تیمار ۱۲/۵ درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۷۵ درصد صمغ زانتان و کمترین مقدار این ویژگی مربوط به تیمار صفر درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۷۵ درصد صمغ زانتان بود. کمترین مقدار شاخص a^* و b^* مربوط به

تیمار ۱۰/۷ درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۲۲ درصد صمغ زانتان بود. بیشترین مقدار a^* و b^* مربوط به تیمار صفر درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۷۵ درصد صمغ زانتان بود. افزایش فیبر باگاس نیشکر باعث کاهش روشنایی و زردی مغز نمونه‌های دونات شد. مقدار قرمزی نمونه‌ها در طول فرایند سرخ‌کردن وابسته به شدت واکنش قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی مایلارد دارد (داراپور، ۱۳۹۶).

ویژگی‌های بافت سطحی

بررسی نتایج این ویژگی در جدول (۳) بیان می‌کند که ضریب رگرسیون مدل درجهٔ دوم برازش‌شده برای توصیف‌گر تباین در سطح (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد. اثرات درجهٔ دوم پودر پالپ پرتقال و صمغ زانتان، اثرات متقابل این دو متغیر و اثر خطی صمغ زانتان بر این ویژگی معنی‌دار نشد. شاخص عدم برازش مدل برای این توصیف‌گر تصویر، غیرمعنی‌دار شد. اما پودر پالپ پرتقال باعث افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) تباین شد. افزایش تباین به علت سخت و سفت‌شدن بافت به‌دلیل حضور فیبرهای رژیمی موجود در پودر پالپ پرتقال رخ می‌دهد (Karimi *et al*., 2012).

جدول ۳ - ضرایب رگرسیون معادله‌های درجهٔ دوم پاسخ‌های ویژگی‌های بافت سطحی دونات

منبع	انرژی	تباین	همبستگی	همگنی	آنتروپی
β_0	۲/۵۰	۵/۳۶	۲۱/۹۷	۴/۱۵^{ns}	۶/۹۴
β_1	۰/۱۷^{ns}	۸/۷۰*	-۱۱/۸۳*	۸/۱۴*	۹/۷۷*
β_2	۳/۵۹^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۱۶/۱۰**	۰/۴۶^{ns}	۰/۵۵^{ns}
$\beta_1\beta_1$	۱/۱۹^{ns}	۳/۴۸^{ns}	۱۲/۶۸**	۶/۸۱*	۰/۶۸^{ns}
$\beta_2\beta_2$	۶/۰۲*	۱/۱۷^{ns}	۲۴/۸۶**	۰/۴۹^{ns}	۶/۰۲*
$\beta_1\beta_2$	۱/۰۷^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۴/۰۹^{ns}	۸/۶۹*
Model (P-value)	۳/۷۲*	۱۱/۰۵**	۹/۵۱**	۵/۱۲*	۵/۸۱*
Lack of fit (p-value)	۰/۴۹^{ns}	۵/۸۶^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۱۱/۳۸^{ns}	۲/۷۴^{ns}
R^2	۷۲/۶۸	۸۸/۷۶	۸۷/۱۷	۷۸/۵۳	۸۰/۵۹
R^2-Adj	۵۳/۱۶	۸۰/۷۳	۷۸/۰۱	۶۳/۱۹	۶۶/۷۳
CV(%)	۳۵/۳۶	۵/۴۶	۲۵/۶	۸/۹۷	۳/۰۶
PRESS	۴/۹۹	۹۷/۶۶۸	۲/۶۶	۰/۰۲۱۶۱	۰/۵۴۲۴

β_0: مقدار ثابت؛ β_1: پودر پالپ پرتقال؛ β_2: صمغ زانتان

ns، * و **، به‌ترتیب نشانهٔ عدم معنی‌داری، در (P<۰/۰۵)، (P<۰/۰۱) و (P<۰/۰۰۱) می‌باشد.

اثر خطی پودر پالپ پرتقال بر توصیف‌گر همبستگی در سطح (P<۰/۰۵) منفی و معنی‌دار شد. همچنین اثر خطی و درجهٔ دوم صمغ زانتان و درجهٔ دوم پودر پالپ پرتقال بر توصیف‌گر همبستگی در سطح (P<۰/۰۱) مثبت و معنی‌دار شد. اثرات متقابل متغیرهای فرمول بر توصیف‌گر همبستگی اثر معنی‌داری نداشت. بررسی شاخص همگنی نشان داد که پودر پالپ پرتقال اثر خطی منفی و معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) بر آن دارد. صمغ زانتان و اثر درجهٔ دوم آن و اثر متقابل پودر پالپ پرتقال و صمغ زانتان بر این توصیف‌گر معنی‌دار نبود. درحالی‌که اثر درجهٔ دوم پودر پالپ پرتقال بر هموژنیستی بافت، مثبت و معنی‌دار (P<۰/۰۵) بود. پودر پالپ پرتقال اثر خطی مثبت و معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) بر آنتروپی داشت. همچنین اثر درجهٔ دوم صمغ زانتان در سطح (P<۰/۰۵) مثبت و معنی‌دار شد. اثر خطی صمغ زانتان، اثر درجهٔ دوم پودر پالپ پرتقال بر این توصیف‌گر معنی‌دار نشد. با افزایش فیبر باگاس نیشکر، انرژی کاهش و در مقابل تباین و آنتروپی افزایش یافت و این تغییرات نشان‌دهندهٔ تأثیر افزودن این متغیر بر زبرشدن سطح نمونه‌ها بود (داراپور، ۱۳۹۶). اثر درجهٔ دوم صمغ زانتان و مدل درجهٔ دوم برازش‌شده بر توصیف‌گر انرژی در سطح (P<۰/۰۵) معنی‌دار شد. افزودن فیبرهای غیرمحلول سبب کاهش

غلظت پروتئین‌های گلوتن و تضعیف شبکهٔ گلوتن و نشاسته می‌شود. با تضعیف ساختار خمیر، خروج هوا ازطریق سطح تسهیل می‌شود (Nouri *et al*., 2017).

ویژگی‌های حسی

باتوجه‌به جدول (۴) اثر خطی پودر پالپ پرتقال بر شاخص نرمی بافت در سطح (P<۰/۰۱) منفی و معنی‌دار بود. اما اثر خطی و درجهٔ دوم زانتان دارای تأثیر مثبت معنی‌داری بود. بیشترین امتیاز ارزیاب‌ها به قابلیت ارتجاعیت مربوط به تیمار با ۱۲/۵ درصد پودر پالپ و ۰/۷۵ درصد صمغ زانتان و بعد از آن تیمار با ۱۰/۷ درصد پودر پالپ و ۰/۲۲ درصد صمغ زانتان است. بررسی نتایج قابلیت جویدن حاکی‌از آن است که تنها پودر پالپ پرتقال دارای اثر مثبت معنی‌داری می‌باشد. به‌طوری‌که، ارزیاب‌ها بیشترین امتیاز را برای ویژگی قابلیت جویدن، به تیمار محتوی ۱۰/۷ درصد پودر پالپ پرتقال و ۱/۲۸ درصد صمغ زانتان و پس از آن به تیمار محتوی ۱۰/۷ درصد پودر پالپ و ۰/۲۲ درصد صمغ زانتان دادند. همچنین کمترین امتیاز به این ویژگی‌ها ازنظر ارزیاب‌ها به تیمار محتوی صفر درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۷۵ درصد صمغ زانتان بود. پودر پالپ پرتقال از دید ارزیاب‌ها اثر خطی معنی‌دار و منفی در سطح (P<۰/۰۵) بر پوکی و تخلخل بافت دونات داشت و سایر اثرات درجهٔ اول و خطی صمغ زانتان، اثر درجهٔ دوم پودر پالپ، اثر درجهٔ دوم صمغ زانتان و اثر متقابل پودر پالپ و صمغ زانتان بر این ویژگی غیرمعنی‌دار گزارش شد. ارزیاب‌های حسی بیشترین امتیاز پذیرش کلی را به تیمار با ۱۲/۵درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۷۵ درصد صمغ زانتان و کمترین امتیاز را به تیمار با ۶/۲۵ درصد پودر پالپ پرتقال و ۷۵/ درصد صمغ زانتان دادند. مدل درجهٔ دوم برازش‌شده برای این ویژگی در سطح (P<۰/۰۱) معنی‌دار بود. همچنین اثر خطی و درجهٔ دوم افزودن پودر پالپ پرتقال و زانتان سبب افزایش معنی‌دار پذیرش کلی شد.

جدول ۴ - ضرایب رگرسیون خصوصیات حسی دونات محتوی پودر پالپ پرتقال

منبع	نرمی بافت	قابلیت ارتجاعیت	قابلیت جویدن	تخلخل	پذیرش کلی
β_0	۱۴/۱۸**	۵/۷۸*	۹/۹۹**	۳/۹۱*	۶/۷۰*
β_1	-۱۲/۱۷**	۲/۴۹ns	۱۸/۴۳**	-۷/۸۱*	۱۰/۸۷*
β_2	۲۵/۲۲**	۴/۹۵ns	۰/۱۷ns	۱/۳۴ns	۷/۲۲*
$\beta_1\beta_1$	۱۰/۸۰**	۱/۵۸ns	۸/۳۹*	۱/۵۱ns	۲۶/۲۷***
$\beta_2\beta_2$	۲۶/۴۰***	۱۴/۶۳**	۰/۰۰ns	۰/۵۸ns	۲۰/۱۴**
$\beta_1\beta_2$	۰/۴۹	۰/۰۶ns	۰/۳۱ns	۰/۰۰ns	۰/۹۸ns
Model (P-value)	۸/۱۵**	۲۱/۷۴***	۹/۷۱**	۱۰/۰۵**	۹/۱۳**
Lack of fit (P-value)	۷/۵۵*	۱۷۵/۹۰**	۵۶/۷۵**	۵۹/۵۴**	۲۶/۹۰**
R^2	۸۵/۳۴	۹۳/۹۵	۸۷/۳۹	۸۷/۷۷	۸۶/۷۱
R^2-Adj	۷۴/۸۷	۸۹/۸۳	۷۸/۳۹	۷۹/۰۳	۷۷/۲۲
CV(%)	۱۱/۵۲	۹/۱۴	۶/۳۴	۴/۱۴	۶/۴۲
PRESS	۰/۰۲۰۰۶	۰/۰۱۱۷۴	۰/۰۱۴۹۲	۰/۰۰۵۴۸۸	۰/۰۱۳۳۰

β_0: مقدار ثابت؛ β_1: پودر پالپ پرتقال؛ β_2: صمغ زانتان

ns، *، ** و ***، به‌ترتیب نشانهٔ عدم معنی‌داری، در (P<۰/۰۵)، (P<۰/۰۱)، (P<۰/۰۰۱) و (P<۰/۰۰۰۱) می‌باشد.

ویژگی‌های بافتی

نتایج ارزیابی آماری ویژگی‌های بافتی در جدول (۵) نشان می‌دهد که تمام مدل‌های پیشنهادی به‌طور معنی‌دار کفایت دارند. تمام متغیرها دارای اثر مثبت غیرمعنی‌داری بر سختی بافت دونات داشتند. در پژوهش Sirichokworrakit و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که سختی بافت دونات با جایگزینی آرد برنج افزایش یافت. همچنین پژوهش مردانی قهفرخی و یارمند (۱۳۹۵) نشان داد که ویژگی‌های بافت مانند سختی بافت، قابلیت جویدن افزایش و پیوستگی و

قابلیت ارتجاعیت کاهش یافت.

علت افزایش سختی بافت، جایگزین‌شدن بخشی از گلوتن آرد با مواد فیبری است و ایجاد شبکهٔ گلوتنی ضعیف در خمیر است. درنتیجه خمیر توانایی نگهداری گاز را نداشته و محصول تولیدشده سفت‌تر و کم‌حجم‌تر می‌گردد. ازسوی‌دیگر، پودر پالپ پرتقال یک اثر خطی منفی معنی‌داری بر صمغیت بافت دونات داشت (P<۰/۰۱) اما صمغ زانتان اثر معنی‌داری بر صمغیت بافت نداشت. همچنین اثرات متقابل و اثر درجهٔ دوم صمغ زانتان و پودر پالپ پرتقال بر این فاکتور معنی‌دار نبود. مدل درجهٔ دوم برازش‌شده هم در سطح (P<۰/۰۰۱) معنی‌دار بود. Mildner-Szhudlarz و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی که روی تولید نان رژیمی با استفاده از پودر تفالهٔ انگور انجام دادند، دریافتند که با افزایش سطح تفاله از ۴ تا ۱۰ درصد سبب افزایش صمغیت بافت نان از ۱۵۴ تا ۲۱۱ نیوتن شد. نتایج تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در جدول (۵)، ثابت کرد که مدل درجهٔ دوم برازش‌شده برای پیوستگی در سطح (P<۰/۰۵) معنی‌دار بود. اثر خطی پودر پالپ پرتقال، اثر خطی صمغ زانتان، اثر درجهٔ دوم پودر پالپ پرتقال، اثر درجهٔ دوم صمغ زانتان و اثر متقابل پودر پالپ پرتقال و صمغ زانتان در هیچ سطحی معنی‌دار نبود. غنی‌کردن دونات با آرد برنج (Sirichokworrakit *et al*., 2016) و پودر پوست سیب‌زمینی (Jeddou *et al*., 2017) نیز سبب کاهش ویژگی پیوستگی بافت شد.

بررسی جدول (۵)، اثر خطی پودر پالپ پرتقال بر قابلیت جویدن بافت در سطح (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد. اما اثرات درجهٔ دوم صمغ و پودر و اثرات متقابل این دو متغیر در هیچ سطحی معنی‌دار نشد. ضریب رگرسیون مدل درجهٔ دوم برای قابلیت جویدن در سطح (P<۰/۰۰۱) معنی‌دار شد. پژوهش Lee و همکاران (۲۰۰۸) درخصوص بررسی دونات پوشش‌دهی‌شده با سبوس سویا، نشان داد که با افزایش درصد سبوس سختی بافت افزایش یافت.

جدول ۵- آنالیز واریانس و ضرایب رگرسیون پاسخ‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی نمونه‌های دونات محتوی پودر پالپ پرتقال

منبع	دانسیته	سختی (نیوتن)	قابلیت جویدن (نیوتن/میلی‌متر)	صمغیت (نیوتن)	پیوستگی (میلی‌متر)
β_0	۳/۳۵^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۱۱/۰۶**	۱۵/۳۱**	۳/۵۲*
β_1	۶/۶۹*	۰/۰۰^{ns}	۱۶/۴۲**	-۲۳/۸۴**	۱/۶۲^{ns}
β_2	۰/۹۵^{ns}	۰/۵۳^{ns}	۰/۵۴^{ns}	۰/۴۰^{ns}	۰/۶۶^{ns}
$\beta_1\beta_1$	۲۳/۹۳**	۲/۴۷^{ns}	۲/۹۸^{ns}	۳/۹۹^{ns}	۴/۲۲^{ns}
$\beta_2\beta_2$	۲/۴۳^{ns}	۰/۴۷^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۴۹^{ns}
$\beta_1\beta_2$	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۰/۴۱^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۰۲^{ns}
Model (P-value)	۱۰/۱۷**	۴/۸۰*	۲۷/۶۳***	۳۵/۹۸***	۳/۵۲*
Lack of fit (P-value)	۱۰/۴۱*	۰/۰۰***	۱۳/۶۱^{ns}	۳۱/۰۸**	۸۲/۷۴**
R^2	۸۷/۹۰	۷۷/۴۰	۹۵/۱۸	۹۶/۲۵	۷۱/۵۶
R^2-Adj	۷۹/۲۶	۶۱/۲۶	۹۱/۷۳	۹۳/۵۸	۵۱/۲۵
CV (%)	۷/۴	۲۲/۷۷	۱۵/۰۵	۱۵/۳۲	۱۴/۷۷
PRESS	۰/۰۱۶۵۱۸	۰/۲۹۹۱۰۷	۰/۰۱۰۳۴۶۳	۰/۰۰۸۷۶۴۰۸	۰/۲۱۸۲۲۵

β_0: مقدار ثابت؛ β_1: پودر پالپ پرتقال؛ β_2: صمغ زانتان

ns، *، ** و ***، به‌ترتیب نشانهٔ عدم معنی‌داری، در (P<۰/۰۵)، (P<۰/۰۱)، (P<۰/۰۰۱) و (P<۰/۰۰۰۱) می‌باشد.

بهینه‌یابی فرمول و اعتبارسنجی مدل

به‌منظور شناسایی فرمول تولید دونات کم‌چرب و پُرفیبر، بهینه‌یابی با استفاده از ابزارهای این بخش در نرم‌افزار مینی‌تب انجام شد. بررسی نشان داد که تیمار با سطح جایگزینی ۱۰/۷۳ درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۰۴ درصد صمغ زانتان و با مطلوبیت ۰/۷ بهترین نمونه است. در مرحلهٔ بعدی و به‌منظور تعیین اعتبار مدل ارائه‌شده توسط نرم‌افزار، دونات‌هایی با فرمول

بهینه تهیه شدند. سپس ویژگی‌های آن ارزیابی و با مقادیر برآوردشده توسط مدل مقایسه شد. همان‌طورکه در جدول (۶) ملاحظه می‌شود، بین مقادیر تجربی و مقادیر برآوردشده توسط مدل در بیشتر ویژگی‌ها تفاوت مهمی وجود نداشت که نشان‌دهندهٔ کفایت مدل حاصله است.

جدول ۶ - مقایسهٔ مقادیر برآوردی و تجربی دونات بهینه

ویژگی	برآورد	تجربی
چربی	۱۷/۷۶	۱۷/۵۰
پیوستگی	۰/۵۲	۰/۷۳
قابلیت جویدن	۰/۲۳	۰/۵۷
دانسیته	۰/۵۷	۰/۴۴
خاکستر	۲/۴۹	۳/۶۹
سختی	۰/۲۶	۰/۱۲
زردی پوسته	۳۲/۷۹	۳۸/۱۶
زردی مغز	۲۷/۳۶	۲۹/۰۶
نرمی بافت	۰/۴۲	۰/۴۲
صمغیت	۰/۱۵	۰/۱۰
پذیرش کلی	۰/۶۰	۰/۴۶

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد افزایش پودر پالپ پرتقال در فرمولاسیون دونات تخمیری باعث افزایش میزان خاکستر، فیبر، رطوبت، دانسیته و کاهش میزان جذب چربی در مغز دونات شد. همچنین با افزودن این افزودنی سبب کاهش شاخص روشنایی و افزایش مقدار زردی و قرمزی پوسته و مغز دونات شد. درمورد ویژگی‌های بافت سطحی نیز کاهش انرژی و همبستگی و افزایش تباین، همگنی و آنتروپی رخ داد. ارزیابی حسی هم با کاهش نرمی، پوکی، تخلخل، افزایش قابلیت جویدن و پذیرش کلی همراه بود. ازسوی‌دیگر، دونات‌های غنی‌شده دارای بافت سفت‌تر حالت صمغی بیشتر و پیوستگی کمتری بودند. به‌طورکلی و براساس نتایج بهینه‌یابی مشخص شد که تیمار دارای ۱۰/۷۳ درصد پودر پالپ پرتقال و ۰/۰۴ درصد صمغ زانتان زمینهٔ کاهش جذب روغن و افزایش فیبر دونات و امکان تولید فراورده‌های فراسودمند را فراهم می‌کند.

منابع

۱- احمدی بلوطکی. م. و ناصحی، ب. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر افزودن پودر خشک پالپ پرتقال بر ویژگی‌های آرد، خمیر و نان بربری. مجله علوم و صنایع غذایی، ۶۶(۱۴):۳۲۵-۳۳۴.

۲- داراپور، م. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های دونات غنی‌شده با باگاس نیشکر. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

۳- دهقان تنها، ل.، کریمی، م. و صالحی‌فر، م.۱۳۹۴. بررسی اثر دو نوع امولسیفایر و آنزیم لیپاز بر کاهش بیاتی دونات روغنی منجمد. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۴۷(۱۲):۲۰۷-۲۲۰.

۴- رجب‌زاده، ن.۱۳۷۱. ارزشیابی نان‌های سنتی ایران. پژوهشکده غله و نان ایران، ۴۵۱: ۲۴-۱۸.

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

۶- ماربینی، و.، جوکار، م.، بلندی، م. و چقیورتی، ا. ۱۳۹۵. بررسی اثر صمغ گزانتان بر کیفیت پاستای بدون گلوتن. نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی، ۳(۸):۴۵-۵۵.

۷- مردانی قهفرخی، آ. و یارمند، م.س. ۱۳۹۵. بررسی اثر افزودن سبوس گندم بر خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان بربری. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۵۰(۱۳): ۱۱-۲۱.

8- AACC. 1999. Approved method of the American association of cereal chemists, 9th end. American association of cereal chemists, Inc., Minnesota.

9- AOAC, 2000. Official Method of Analysis, 17th end. Association of Official Analytical Chemists Inc, Maryland.

10- Asfaram, A., Ghaedi, M., Goudarzi, A., & Rajabi, M. 2015. Response surface methodology approach for optimization of simultaneous dye metal ion ultrasound assisted adsorption onto mn doped fe_3o_4-nps laded on ac: kinetic and isothermal studies. Dalton Transactions, 44(33):14707-14723.

11- Brennan, R.G., Myers, A.S., & Herick, C.S. 2013. Reduction of fat content during frying using dried egg and fiber solution. Eurropean Journal of Lipid Science and Technology, 115(8):946-955.

12- de Moraes Crizel, T., Jablonski, A., de Oliveira Rios, A., Rech, R., & Flores, S.H. 2013. Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. LWT-Food Science and Technology, 53(1):9-14.

13- Hejrani, T., Sheijholeslami, Z., Mortazavi, A., & Ghiafe Davoodi, M. 2017. The propertie of part baked frozen bread with guar and zanthan gums. Food Hydrocolloids, 71:252-257

14- Jeddou, K.B., Bouaziz, F., Zouari-Ellouzi, S., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni, S., Ellouz-Ghorbel, R., & Nouri-Ellouz, O. 2017. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. Food Chemistry, 217:668-677.

15- Karimi, M., Fathi, M., Sheykholeslam, Z., Shahraiyan, B., & Naghipoor, F. 2012. Effect of different processing parameters on quality factors and image texture features of bread. Journal of Bioprocessing & Biotechniques, 2(127):2-7

16- Kim, J., Choi, I., Shin, W-K., & Kim, Y. 2015. Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. LWT-Food Science and Technology, 62(1):620-627.

17- Lee, J.-S., Kim, B.-K., Kim, K.-H., & Park, D.-J. 2008. Preparation of low-fat uptake doughnut by dry particle coating technique. Journal of Food Science , 73(3):E137-E142.

18- Melito, H.S., & Farkas, B.E. 2012. Impact of infrared finishing on the mechanical and sensoria properties of wheat donuts. Journal of Food Science, 77(9):E224-E230.

19- Mildner-Szhudlarz, S., Zawirska-Wojtasiak, R., Jzwengiel, A., & Pacynski, M. 2011. Use of grape by-product as a source of dietary fibre and phenolic compounds in sourdough mixed rye bread. International Journal of Food Science & Technology, 46(7):1485-1493.

20- Morris, C., & Morris, G.A. 2012. The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weigh tmanagement:A review. Food Chemistry, 133(2):237-248.

21- Ngadze, R.T., Linnermann, A.R., Nyanga, L.K., Fogliano, V., & Verkerk, R. 2017. Local processing and nutritional composition of indigenous fruits:The case of monkey orange (Strychnos SPP.) from Southern Africa. Food Reviews International, 33(2):123-142.

22- Nouri, M., Nasehi, B., Samavati, V., & Abdanan Mehdizadeh, S. 2017. Optimization the effects of Persian gum and carrot pomace powder for development of low-fat donut with high fibre content. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 9:39-45.

23- Rubel, I.A., Perez, E.E., Manrique, G.D., & Genovese, D.B. 2015. Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin:Effect on dough rheology and bread quality. Food Structure, 3:21-29

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

25- Salem, Y.B., & Nasri, S. 2009. Txtural classification of woven fabric based on a GLCM method and using multiclass support vector machine. P. 7. 6th International multi-Conference on systems, Signals & Devices, Djebra, Tunisia. 23-26 March.

26- Segundo, C., Roman, L., Gomez, M., & Martinez, M.M. 2017. Mechanically fractionate flour isolated from green bananas (*M. Cavendish* Var. nanica) as a tool to increase the dietary fiber and phytochemical bioactivity of layer and sponge cakes. Food Chemistry, 219:240-248.

27- Shih, F.F., Daigle, K.W., & Clawson, E.L. 2001. Development of low oil-uptake donuts. Journal of Food Science, 66(1):141-144

28- Sirichokworrakit, S., Intasen, P., & Angkawut, C. 2016. Quality of donut supplemented with Hom Nice Rice flour. International Journal of Nutrition and Fodd Engineering, 10(7):443-446.

29- Tournier, C., Grass, M., Zope, D., Salles, Ch., Bertrand, D. 2012. Characterization of bread breakdown during mastication by image texture analysis. Journal of Food Engineering, 4(113):615-622.

30- Wallecan, J., MmCrae, C., Debon, S.J.J., Dong, J., & Mazoyer, J. 2015. Emulsifying and stabilizing properties of functionalized orange pulp fibers. Food Hydrocolloides, 47:115-123.

31- Zeng, H., Chen, J., Zhai, J., Wang, H., Xia, W., & Xiong, Y.L. 2016. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber. LWT-Food Science & Technology, 73:425-431.

The Optimization of Characteristics of Diet Donut Enriched with Orange Pulp Powder

Atefeh Yousefi[1], Behzad Nasehi[2,3*], Hassan Barzegar[4]

1- Graduate Masters, Department of Food Technology, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
2- Department of Agricultural Engineering and Technology, Payame Noor University (PNU), Iran
3- Associate professor, Department of Food Technology, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
* Corresponding author (Nasehi.b@pnum.ac.ir)
4-Assistant Professor, Department of Food Technology, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

Abstract

Donuts are a sweet snack that is typically fermented and dipped in fry. Therefore, its problems include absorbing a large amount of oil, which must decrease by inventing of some methods. In this study, the effect of orange pulp powder in the range of 0 to 12.5 percent and xanthan hydroquinone in the range of 0 to 1.5 percent on Donut characteristics were investigated using response surface method. The results represented that by increasing the amount of orange pulp powder as a source of soluble and insoluble dietary fiber, which contains pectin and cellulose and xanthan gum, the moisture content, ash, fiber, density, yellowness and redness of donuts crust and crumb of the product, contrast, correlation, entropy, hardness, gumminess, chewiness, total acceptance increased , however, fat absorption, lightness of donuts crust and crumb, homogenecity, softness, cohesiveness, porosity significantly decreased. The result indicated that replacing 10.73 percent of orange pulp powder and 0.04 percent of xanthan gum will reduce the absorption of oil, increase fiber and produce healthy donuts.

Keywords: Donut, Fiber, Hydrocolloid, Orange pulp

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۳۲۲-۳۰۹

JRIFST

بهینه‌سازی اثرات غلظت نشاستهٔ گرمانرم و گلیسرول بر خواص فیزیکومکانیکی آمیزهٔ نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید به روش سطح پاسخ

محمدرضاعبدالهی مقدم[۱و۲]، سیدمحمدعلی رضوی[۳*]، یوسف جهانی[۴]

۱- دانش آموختهٔ دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استادیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۳- استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (s.razavi@um.ac.ir)
۴- استاد، گروه پلاستیک، پژوهشکده فرایند پلیمرها، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳

واژه‌های کلیدی
بهینه‌یابی
پلی‌لاکتیک اسید
سطح پاسخ
فیزیکومکانیکی
نشاستهٔ گرمانرم

چکیده

آمیزه‌های نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید به‌عنوان مواد کاملاً زیست‌تخریب‌پذیر، قابلیت جایگزینی با پلیمرهای به‌دست‌آمده از منابع نفتی را برای کاربردهای بسته‌بندی و به‌ویژه تولید ظروف یک‌بارمصرف دارا می‌باشند. در پژوهش حاضر آمیزه‌های ذکرشده در حضور سازگارکننده به روش اختلاط مذاب تهیه شدند و تأثیر هم‌زمان فاکتورهای درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در آمیزه در دامنهٔ ۱۰ تا ۵۰ درصد و درصد وزنی گلیسرول در مخلوط با سوربیتول به‌عنوان نرم‌کنندهٔ نشاسته در دامنهٔ صفر تا ۱۰۰ درصد بر مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و رطوبت تعادلی آمیزه‌ها، با انجام آزمایش‌هایی مطابق روش آماری سطح پاسخ بهینه‌یابی شد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، آمیزهٔ با مقادیر درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در آمیزه و درصد وزنی گلیسرول در مخلوط با سوربیتول بهینه به‌ترتیب برابر با ۳۴/۹ و ۲۸/۷ درصد، دارای مقادیر مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و رطوبت تعادلی به‌ترتیب برابر با ۲۸ مگاپاسکال، ۲۵/۵ ژول/متر و ۱۴/۳ درصد بود. آمیزهٔ نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید با مقادیر درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در آمیزه و درصد وزنی گلیسرول در مخلوط با سوربیتول بهینه به‌ترتیب برابر با ۳۴/۹ و ۲۸/۷ درصد و با فاز نشاستهٔ گرمانرم شامل ۳۵ درصد وزنی مخلوط نرم‌کننده با اکسترودر دوپیچه تهیه شد و مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و رطوبت تعادلی آن اندازه‌گیری شد. انحراف نسبی داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های رگرسیونی برای مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و رطوبت تعادلی آمیزه به‌ترتیب برابر با ۴/۴، ۲/۴ و ۱۰/۶ درصد بود.

مقدمه

ازجمله اهداف بسته‌بندی مواد غذایی می‌توان جلوگیری از ضایعات و اتلاف مواد غذایی، ممانعت از تخریب توسط عوامل محیطی و عوامل فساد درونی و بیرونی، سهولت حمل‌ونقل، افزایش زمان ماندگاری و نیز نگهداری و عرضهٔ آنها به‌صورت سالم به مصرف‌کننده را نام برد. توسعهٔ روزافزون صنایع پتروشیمی و پیشرفت سریع فناوری‌های مربوط به تولید پلاستیک‌های صنعتی طی دهه‌های اخیر، موجب کاربرد هرچه بیشتر پلیمرهای سنتزی با منشأ نفتی در صنایع بسته‌بندی و به‌ویژه بسته‌بندی مواد غذایی شده است. اغلب پلیمرهای سنتزی با منشأ

نفتی، مانند پلی‌الفین‌ها[1]، پلی‌وینیل‌ها[2]، نایلون‌ها و غیره در برابر تخریب بیولوژیکی مقاوم می‌باشند و پیوندهای کربنی آنها توسط آنزیم‌های ریزجانداران شکسته نمی‌شوند. بنابراین تجمع و انباشته‌شدن ضایعات این پلاستیک‌ها، موجب آلوده‌شدن محیط‌زیست شده ضمن آنکه دفن آنها در خاک نیز باعث آلوده‌شدن خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود (Yokesahachart & Yoksan, 2011). ازطرف‌دیگر منابع نفتی به‌عنوان مواد اولیه برای تهیهٔ پلیمرهای سنتزی زیست‌تخریب‌ناپذیر، محدود و تجدیدناپذیر می‌باشند بنابراین یافتن منابع جایگزین تجدیدپذیر به‌عنوان مواد اولیهٔ ساخت پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر برای کاربردهای مختلف و ازجمله بسته‌بندی مواد غذایی از اهمیت روبه‌رشدی برخوردارشده و در سال‌های اخیر موضوع تحقیق‌های زیادی بوده است. در میان پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر حاصل از منابع زیستی، انواع نشاسته به‌دلیل فراوانی، سهولت تولید انبوه و ارزانی نسبی به‌عنوان مادهٔ اولیه برای تهیهٔ پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر موردتوجه زیادی واقع شده‌اند. نشاستهٔ خالص خشک دارای دمای ذوب ۲۴۰-۲۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد یعنی بالاتر از دمای شروع تخریب آن (۲۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) می‌باشد (Souza & Andrade, 2002; Stepto, 2003). بنابراین با فرایندهای معمول در صنایع پلیمری نمی‌توان از آن مادهٔ بسته‌بندی تهیه کرد اما در مواردی به‌منظور پایین‌آوردن قیمت محصول و هم‌زمان افزایش زیست‌تخریب‌پذیری آن، به‌عنوان مادهٔ پرکننده و یا تقویت‌کننده در تهیهٔ مواد مرکب پلیمری استفاده شده است. نشاسته در حضور آب و یا مواد نرم‌کنندهٔ غیرفرار و تحت فرایندهای حرارتی و مکانیکی تبدیل به نشاستهٔ گرمانرم[3] می‌شود که با داراشدن قابلیت شکل‌پذیری توسط حرارت می‌توان از آن در تولید انواع مواد بسته‌بندی و فیلم‌ها استفاده کرد. مواد بر پایهٔ نشاستهٔ گرمانرم جزء ارزان‌ترین مواد اولیهٔ گرمانرم برای کاربردهای یک‌بارمصرف به‌ویژه برای تهیهٔ ظروف یک‌بارمصرف بسته‌بندی مواد غذایی (Lorcks, 1998) و نیز فیلم‌های پلاستیکی مورد استفاده در کشاورزی (Mugnozza *et al*., 2006) می‌باشند. محصولات بسته‌بندی ساخته‌شده از نشاستهٔ گرمانرم با وجود دارابودن ویژگی‌های مطلوبی چون خاصیت ممانعت‌کنندگی خوب در برابر عبور اکسیژن (Dole *et al*., 2004)، زیست‌تخریب‌پذیری (Iovino *et al*., 2008) و قابلیت کمپوست‌شدن (Lorcks, 1998)، نسبت به پلیمرهای سنتزی، دارای خواص مکانیکی ضعیف به‌ویژه مقاومت کششی[4] و مدول الاستیک[5] پایین و پایداری حرارتی کم (Arboleda *et al*., 2015) بوده و به‌علاوه بسیار آب‌دوست می‌باشند (Teixeira *et al*., 2009) که موجب حساسیت زیاد آنها به رطوبت و درنتیجه اُفت خواص مکانیکی و ممانعت‌کنندگی آنها در محیط‌های با رطوبت متوسط و بالا می‌شود (Yu *et al*., 2006; Lu *et al*., 2009). تدابیر اتخاذشده تاکنون برای رفع نواقص ذکرشده شامل اصلاح شیمیایی نشاسته، اختلاط مذاب نشاستهٔ گرمانرم با پلیمرهای زیست‌تخریب‌ناپذیر با منشأ نفتی یا پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر، تقویت آن با الیاف و بالاخره تهیهٔ نانوکامپوزیت‌های بر پایهٔ نشاستهٔ گرمانرم می‌باشد (Zhang *et al*., 2012). دراین‌میان یکی از روش‌های بسیار توصیه‌شده برای بهبود خواص پلاستیک‌های بر پایهٔ نشاستهٔ گرمانرم و درعین‌حال حفظ خاصیت زیست‌تخریب‌پذیری محصول نهایی، ترکیب‌کردن نشاستهٔ گرمانرم با پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر سنتزی می‌باشد (Huneault & Li, 2007; Ren *et al*., 2009). در میان انواع پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر سنتزی، پلی‌لاکتیک اسید[6] به‌عنوان یک پلی‌استر زیستی آلیفاتیک که از بسپارش اسیدلاکتیک به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر به‌دست می‌آید با دارابودن مقاومت کششی و مدول الاستیک بالا، فرایندپذیری حرارتی و خاصیت آب‌گریزی خوب و قیمت پایین‌تر بیشترین توجه را به خود برای اختلاط با پلیمرهای به‌دست‌آمده از منابع زیستی و کشاورزی جلب کرده است (Auras *et al*., 2004). ازجمله معایب این پلیمر می‌توان از

[1] Polyolefines
[2] Polyviniles
[3] Thermoplastic Starch
[4] Tensile Strength, TS
[5] Elastic Modulus, EM
[6] Polylactic Acid, PLA

شکنندگی، نداشتن گروه‌های جانبی فعال در زنجیر اصلی و زیست‌تخریب‌پذیری پایین نسبت به پلیمرهای زیستی نام برد به‌طوری‌که زیست‌تخریب‌پذیری درجه‌های مختلف آن از چند ماه تا دو سال می‌باشد (Nampoothiri *et al*., 2010). اختلاط پلی‌لاکتیک اسید و نشاستهٔ گرمانرم روش خوبی برای به‌دست‌آوردن مادهٔ اولیه با خواص فیزیکومکانیکی، زیست‌تخریب‌پذیری و قیمت مناسب برای کاربردهای بسته‌بندی می‌باشد. اما نشاستهٔ گرمانرم آب‌دوست و پلی‌لاکتیک اسید آب‌گریز به‌دلیل تفاوت در ساختار و خواص شیمیایی، به لحاظ ترمودینامیکی امتزاج‌ناپذیر بوده و چسبندگی بین سطحی فازها در آمیزهٔ آنها ضعیف می‌باشد (Wang *et al*., 2007). پلی‌لاکتیک اسید پیوندخورده با انیدرید مالئیک[1] به‌عنوان یک سازگارکنندهٔ واکنشگر به‌طور گسترده‌ای برای سازگارکردن آمیزه‌های غیرامتزاج‌پذیر پلی‌لاکتیک با سایر پلیمرها مورد استفاده واقع شده است. در این تحقیق، سازگارکنندهٔ پلی‌لاکتیک اسید پیوندخورده با انیدرید مالئیک طی فرایند اکستروژن واکنشی تهیه شد و از آن برای سازگارکردن آمیزه‌های نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید استفاده شد. بسیاری از خواص مهم و کاربردی آمیزهٔ ذکرشده ازجمله خواص مکانیکی و ممانعتی در برابر نفوذ بخار آب می‌تواند متأثر از دو عامل غلظت نشاستهٔ گرمانرم در آمیزه (CTPS)[2] و غلظت گلیسرول در مخلوط گلیسرول و سوربیتول (CGLY)[3] به‌عنوان نرم‌کننده برای فاز نشاستهٔ گرمانرم باشد. تأثیر درصد وزنی نشاسته‌های گرمانرم ذرت و تاپیوکا[4] (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی نسبت به کل آمیزه) بر خواص کششی آمیزهٔ نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید نرم‌شده توسط Phetwarotai و همکاران (۲۰۱۲) موردمطالعه قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم (برای هر دو نشاستهٔ گرمانرم) مقاومت کششی آمیزه کاهش یافت. Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۶) نانوکامپوزیت نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید/نانورس را با اکسترودر دوپیچه تهیه‌کرده و تأثیر غلظت نشاستهٔ گرمانرم ذرت (۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد وزنی مخلوط نشاستهٔ گرمانرم ذرت و پلی‌لاکتیک اسید) و غلظت نانورس (۱، ۳ و ۵ قسمت در ۱۰۰ قسمت[5] آمیزه) را بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت موردمطالعه قرار دادند. درصد وزنی سوربیتول در نشاستهٔ گرمانرم ذرت تهیه‌شده ۳۶ بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که برای هر غلظت نانورس، با افزایش درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم ذرت، مقاومت کششی نانوکامپوزیت کاهش و مقاومت ضربه‌ای آن افزایش یافت. Zhang و همکاران (۲۰۱۲) آمیزه‌های پلی‌لاکتیک اسید نرم‌شده/نشاستهٔ گرمانرم سیب‌زمینی سازگارشده با ۱ قسمت در ۱۰۰ قسمت آمیزه، مادهٔ توسعه‌دهندهٔ زنجیر پلیمری تجاری با نام جانکریل و آمیزه‌های غیرسازگار را تهیه‌کرده و تأثیر نسبت‌های وزنی مختلف نشاستهٔ گرمانرم سیب‌زمینی را بر مقدار جذب رطوبت آمیزه‌ها موردمطالعه قرار دادند. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، برای تمام رطوبت‌های تعادلی، با افزایش نسبت وزنی نشاستهٔ گرمانرم سیب‌زمینی در آمیزه، مقدار جذب رطوبت تعادلی هر دو آمیزه سازگار و غیرسازگار افزایش یافت. در یک کار پژوهشیی Li و Huneault (۲۰۱۱) آمیزه‌های نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید غیرسازگار و آمیزه‌های سازگارشده با پلی‌لاکتیک اسید پیوندخورده با انیدرید مالئیک را با اکسترودر دوپیچه تهیه‌کرده و تأثیر نسبت وزنی سوربیتول به گلیسرول به‌عنوان نرم‌کننده برای نشاستهٔ گرمانرم را بر خواص کششی آمیزه‌هایی با ۲۷ درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم بررسی کردند. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، مقاومت کششی و مدول کششی آمیزه‌ها (سازگار و غیرسازگار) با افزایش نسبت وزنی سوربیتول به گلیسرول، افزایش یافت. ازآنجاکه در پژوهش‌های پیشین اثر هم‌زمان دو عامل یادشده بر خواص موردنظر آمیزه، مورد بررسی قرار نگرفته است هدف اصلی از انجام این تحقیق، بهینه‌یابی تأثیر غلظت نشاستهٔ گرمانرم در آمیزه و غلظت گلیسرول در مخلوط گلیسرول و سوربیتول بر مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها بود.

[1] PLA-g-MA
[2] Concentration of Thermoplastic Starch
[3] Concentration of Glycerol
[4] Tapioca
[5] Per Hundred, phr

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

نشاستهٔ گندم طبیعی با محتوای رطوبت ۱۰ درصد از شرکت نشاستهٔ ممتاز ایران خریداری شد. پلی‌لاکتیک اسید تجاری نوع 2003D[1] با محتوای L – لاکتیک اسید ۹۶ درصد (از نمایندگی شرکت نیچرورکس آمریکا) تهیه شد. گلیسرول با چگالی ۱/۲۶، جرم مولکولی ۹۲/۱ گرم بر مول، نقطه‌جوش ۲۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد و خلوص ۹۹ درصد و D-سوربیتول جامد با جرم مولکولی ۱۸۲/۱۷ گرم بر مول، نقطهٔ ذوب ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد، نقطه‌جوش ۲۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد و خلوص ۹۸ درصد به‌عنوان نرم‌کننده برای نشاسته از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. پلی‌لاکتیک اسید پیوندخورده با انیدرید مالئیک به‌عنوان سازگارکننده برای آمیزه‌ها با درجهٔ پیوند ۱/۲ درصد به روش اکستروژن واکنشی تهیه شد. نیترات منیزیم از نوع تجاری با خلوص بالا برای آزمون تعیین مقدار جذب رطوبت تعادلی نمونه‌ها از فروشندگان داخلی تهیه شد.

روش تهیهٔ نشاستهٔ گرمانرم گندم

ابتدا نشاستهٔ گندم در آون (مدل ممرت، ساخت آلمان) ۱۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد مجهز به سیستم چرخش هوای گرم به مدت ۲ ساعت خشک‌شده و پس از سردشدن در خشکانهٔ حاوی سیلیکاژل، مطابق فرمولاسیون‌های جدول (۱) با گلیسرول، سوربیتول و آب‌مقطر با نسبت وزنی نشاستهٔ خشک:مخلوط گلیسرول و سوربیتول:آب‌مقطر برابر ۶۱/۷۵: ۳۳/۲۵: ۵ برای تهیهٔ نشاسته‌های گرمانرم گندم با ۳۵ درصد وزنی نرم‌کننده، توسط دستگاه توربو میکسر (Papenmeier، ساخت آلمان) با سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه به‌خوبی مخلوط شد. مخلوط به‌دست‌آمده به مدت ۲۴ ساعت در کیسهٔ آلومینیومی به‌منظور نفوذ گلیسرول به درون گرانول‌های نشاسته نگهداری شد. به‌منظور تهیهٔ نشاستهٔ گرمانرم، مخلوط یادشده به‌طور دستی و به تدریج وارد ناحیهٔ خوراک‌دهی اکسترودر دوپیچه همسوگرد (BrabenderDSE 20، ساخت آلمان) دارای عملکرد با شرایط نمایهٔ دمایی از ناحیهٔ خوراک تا ناحیهٔ قالب ۱۲۰-۱۳۰-۱۳۰-۱۴۰-۱۴۰-۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد و سرعت ماردون‌های ۶۰ دور بر دقیقه شد. رشتهٔ نشاستهٔ گرمانرم گندم خروجی از قالب (با قطر منفذ ۳ میلی‌متر) ضمن حرکت روی نوارنقاله توسط دمندهٔ هوا خنک‌شده و پس از خشک‌شدن در آون ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ساعت، توسط گرانول‌ساز (Brabender، ساخت آلمان) تبدیل به گرانول شد.

روش تهیهٔ آمیزه‌های سازگار نشاستهٔ گرمانرم گندم/پلی‌لاکتیک اسید

ابتدا گرانول‌های پلی‌لاکتیک اسید، نشاستهٔ گرمانرم گندم و پلی‌لاکتیک اسید پیوندخورده با انیدرید مالئیک به‌ترتیب در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و تحت‌خلأ در دمای ۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت خشک شدند. آنگاه برای تهیهٔ آمیزه‌ها مطابق فرمولاسیون‌های جدول (۱)، اجزاء خشک‌شدهٔ آمیزهٔ مربوطه به‌طور دستی با هم مخلوط‌شده و به تدریج وارد ناحیهٔ خوراک‌دهی اکسترودر دارای عملکرد با شرایط نمایهٔ دمایی از ناحیهٔ خوراک تا ناحیهٔ قالب ۱۶۵-۱۷۳-۱۸۰-۱۸۰-۱۷۳-۱۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد و سرعت ماردون‌های ۴۵ دور بر دقیقه شدند. آمیزهٔ رشته‌ای خروجی از قالب ضمن حرکت روی نوارنقاله توسط دمندهٔ هوا خنک‌شده و سپس توسط گرانول‌ساز تبدیل به گرانول شد. مقدار لازم از گرانول‌ها درون قالب‌هایی به ابعاد داخلی ۲۰۰×۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت‌های مختلف قرارگرفته و آنگاه با دستگاه مینی‌پرس دستی (Toyoseiki Press، Tokyo، ساخت ژاپن) به مدت ۳ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد پیش‌گرم و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در همان دما و فشار ۲۰ مگاپاسکال گرم‌شده و پس از سردشدن با پرس سرد اتوماتیک تا دمای محیط، ورق‌های به‌دست‌آمده توسط کاتر از قالب جدا شدند. نمونه‌ها برای انجام آزمون‌های مختلف از ورق‌های یادشده جدا شدند. در جدول (۱)؛ CTPS، درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در مخلوط با پلی‌لاکتیک اسید و CGLY، درصد وزنی گلیسرول در مخلوط با سوربیتول می‌باشد.

[1] Ingeo™ biopolymer 2003D, NatureWorks LLC, USA

جدول ۱ - فرمولاسیون‌های آمیزه‌های نشاستهٔ گرمانرم گندم/پلی‌لاکتیک اسید با فاز نشاستهٔ گرمانرم گندم تهیه‌شده با گلیسرول یا سوربیتول یا مخلوط آنها

شمارهٔ آزمایش	کد نمونه	CTPS (درصد)	CGLY (درصد)	PLA-g-MA (در ۱۰۰ قسمت)
۱	CTPS10CGLY50	۱۰/۰	۵۰/۰	۴
۲	CTPS30CGLY50	۳۰/۰	۵۰/۰	۴
۳	CTPS30CGLY100	۳۰/۰	۱۰۰/۰	۴
۴	CTPS50CGLY50	۵۰/۰	۵۰/۰	۴
۵	CTPS15.9CGLY14.6	۱۵/۹	۱۴/۶	۴
۶	CTPS44.1CGLY14.6	۴۴/۱	۱۴/۶	۴
۷	CTPS30CGLY50	۳۰/۰	۵۰/۰	۴
۸	CTPS15.9CGLY85.3	۱۵/۹	۸۵/۳	۴
۹	CTPS30CGLY50	۳۰/۰	۵۰/۰	۴
۱۰	CTPS30CGLY0	۳۰/۰	۰/۰	۴
۱۱	CTPS44.1CGLY85.3	۴۴/۱	۸۵/۳	۴

اندازه‌گیری مقاومت کششی نمونه‌ها

مقاومت کششی نمونه‌های آمیزه‌ها با استفاده از دستگاه تست کشش و فشار[1] (مدل Santa STM-20، ساخت ایران) و مطابق با استاندارد شمارهٔ D638-02a (ASTM, 2000) اندازه‌گیری شد. ۵ نمونه به شکل دمبل از هر ورق (با ابعاد ۳×۲۰۰×۲۰۰ میلی‌متر) پانچ‌شده و نمونه‌ها در رطوبت و دمای موردنظر (رطوبت نسبی ۵۳ درصد و دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) به مدت ۴۸ ساعت مشروط‌شده و خواص کششی آنها را در دمای محیط اندازه‌گیری و پس از رسم منحنی تنش ـ کرنش، مقادیر مقاومت کششی تعیین و میانگین مقادیر کششی به‌دست‌آمده گزارش شد. از لودسل[2] ۵۰۰۰ نیوتن برای دستگاه استفاده شد و فاصلهٔ دو فک ۶۵ میلی‌متر و سرعت حرکت فک بالایی در ۵ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد.

اندازه‌گیری مقاومت ضربه‌ای نمونه‌ها

مقاومت ضربه‌ای ایزود شکاف‌دار نمونه‌های آمیزه‌ها با دستگاه اندازه‌گیری مقاومت ضربه‌ای از نوع پاندولی (مدل ۵۱۰۲، شرکت زویک، ساخت آلمان) و مطابق با استاندارد شمارهٔ D256-10e1 (ASTM, 2010) و روی نمونه‌هایی به ابعاد ۳×۱۲/۷×۶۳/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. آزمون در ۵ تکرار انجام شد و میانگین مقادیر به‌دست‌آمده به‌عنوان مقاومت ضربه‌ای ایزود شکاف‌دار هر نمونه گزارش شد.

اندازه‌گیری مقدار جذب رطوبت تعادلی نمونه‌ها

برای اندازه‌گیری مقدار جذب رطوبت نمونه‌ها ابتدا از هر ورق (با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر) ۳ نمونه به ابعاد ۲۰×۲۰ میلی‌متر بریده شد. آنگاه نمونه‌ها در خشکانهٔ حاوی محلول اشباع نمک نیترات منیزیم که رطوبت نسبی ۵۳ درصد در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد ایجاد می‌کند قرار داده شدند (Spiess & Wolf, 1983). سپس خشکانه به مدت ۷ روز درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. نمونه‌ها پس از رسیدن به تعادل رطوبتی، از خشکانه خارج‌شده و پس از برطرف‌کردن رطوبت سطحی، بلافاصله با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن‌شده (W) و سپس برای تبخیر رطوبت جذب‌شده، به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرارگرفته و پس از بیرون آوردن از آون به مدت ۱ ساعت درون خشکانهٔ حاوی سیلیکاژل در دمای محیط سردشده و بلافاصله با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن شدند (W_0). مقدار جذب رطوبت تعادلی نمونه‌ها (M) از رابطهٔ (۱) به‌دست‌آمده و میانگین‌ها گزارش شد.

رابطهٔ (۱)

$$M = \left(\frac{W-W_0}{W_0}\right) \times 100$$

[1] Universal Test Machine
[2] Load Cell

تجزیه‌وتحلیل آماری

بررسی تأثیر هم‌زمان دو تیمار درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در مخلوط با PLA در دامنهٔ ۱۰ تا ۵۰ و درصد وزنی گلیسرول در مخلوط با سوربیتول در دامنهٔ صفر تا ۱۰۰ بر مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و مقدار جذب رطوبت آمیزه‌های سازگارشدهٔ نشاستهٔ گرمانرم گندم/پلی‌لاکتیک اسید (PLA/TPS)[1] برای تعیین مقادیر بهینهٔ تیمارها، با روش آماری سطح پاسخ (RSM)[2] و در قالب طرح مرکب مرکزی[3] با ۳ تکرار انجام و سطوح تیمارها تعیین شدند. برازش داده‌ها توسط معادلهٔ رگرسیونی چندجمله‌ای درجهٔ دوم (رابطهٔ ۲) انجام شد.

رابطهٔ (۲)

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^{k} \beta_{ij} X_i X_j$$

در رابطهٔ (۲)، β_0، β_i، β_{ii} و β_{ij} به‌ترتیب عرض از مبدأ (ضریب ثابت)، ضریب رگرسیون خطی فاکتور (تیمار) iام، ضریب رگرسیون درجهٔ دوم فاکتور iام، ضریب رگرسیون خطی اثر متقابل فاکتور iام و فاکتور jام و Y_i متغیر وابسته و X_i و X_j متغیرهای مستقل می‌باشند. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، رسم نمودارهای سطح پاسخ و بهینه‌یابی تیمارهای یادشده، با نرم‌افزار مینی‌تب نسخهٔ ۱۶ صورت گرفت.

نتایج و بحث

برای دو متغیر مستقل درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در مخلوط آن با پلی‌لاکتیک اسید و درصد وزنی گلیسرول در مخلوط آن با سوربیتول، سطوح متغیرهای مستقل کددار (به‌ترتیب X_1 و X_2) و بدون کد (به‌ترتیب CTPS و CGLY) تعیین‌شده توسط روش سطح پاسخ و نیز داده‌های آزمایشگاهی ۳ متغیر وابسته شامل مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها در جدول (۲) آورده شده است. همچنین ضرایب رگرسیون اثرات خطی، اثرات درجه‌دو و اثرات خطی متقابل متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته و معنی‌داری آنها حاصل از برازش مدل رگرسیونی درجه‌دو (رابطهٔ ۲) بر داده‌های آزمایشگاهی در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۲ - سطوح متغیرهای مستقل کددار و بدون‌کد و داده‌های آزمایشگاهی متغیرهای وابسته

شمارهٔ آزمایش	متغیرهای کددار		متغیرهای بدون‌کد		متغیرهای وابسته		
	X_1	X_2	CTPS (درصد)	CGLY (درصد)	مقاومت کششی (مگاپاسکال)	مقاومت ضربه‌ای (ژول بر متر)	جذب رطوبت تعادلی (درصد)
۱	۱	۱	۴۴/۱	۸۵/۳	۲۰/۶	۲۸/۳	۲۱/۴
۲	۰	۰	۳۰/۰	۵۰/۰	۳۰/۳	۲۵/۰	۱۳/۲
۳	۰	۰	۳۰/۰	۵۰/۰	۳۱/۷	۲۴/۸	۱۲/۹
۴	۰	-۱/۴۱۴	۳۰/۰	۰/۰	۳۱/۵	۲۳/۶	۱۲/۰
۵	۰	۰	۳۰/۰	۵۰/۰	۳۱/۱	۲۴/۳	۱۲/۳
۶	-۱	-۱	۱۵/۹	۱۴/۶	۴۳/۴	۲۰/۵	۶/۲
۷	-۱	۱	۱۵/۹	۸۵/۳	۳۹/۱	۲۲/۱	۸/۹
۸	۱/۴۱۴	۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۱۸/۱	۲۸/۸	۲۴/۱
۹	۰	۱/۴۱۴	۳۰/۰	۱۰۰/۰	۲۹/۵	۲۴/۹	۱۶/۸
۱۰	۱	-۱	۴۴/۱	۱۴/۶	۲۱/۰	۲۷/۹	۱۸/۲
۱۱	-۱/۴۱۴	۰	۱۰/۰	۵۰/۰	۴۳/۳	۲۱/۲	۶/۳

[1] Polylactic Acid/Thermoplastic Starch
[2] Respond surface methodology
[3] Centeral composite design

جدول ۳ - ضرایب رگرسیون اثرات خطی، اثرات درجه‌دو و اثرات متقابل متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته و معنی‌داری آنها

نماد	مقاومت کششی		مقاومت ضربه‌ای		جذب رطوبت تعادلی	
ضرایب	ضریب رگرسیون	P	ضریب رگرسیون	P	ضریب رگرسیون	P
β_0	۳۱/۰۳۳۳	-	۲۴/۷۰	-	۱۲/۸۰	-
β_1	-۹/۵۶۷۳	۰/۰۰۳	۳/۰۴	۰/۰۰۹	۶/۲۱	۰/۰۰۵
β_2	-۰/۹۴۱۱	۰/۰۴۸	۰/۴۸	۰/۰۴۴	۱/۵۹	۰/۰۰۲
β_{11}	-۰/۰۶۰۴	۰/۸۹۴	۰/۱۷	۰/۴۶۶	۰/۹۲	۰/۰۳۹
β_{22}	-۰/۱۶۰۴	۰/۷۲۵	-۰/۲۱	۰/۳۷۹	۰/۵۲	۰/۱۷۹
β_{12}	۰/۹۷۵۰	۰/۱۱۵	-۰/۳۰	۰/۲۹۱	۰/۱۳	۰/۷۶۴

بررسی تأثیر هم‌زمان CTPS و CGLY بر مقاومت کششی آمیزه‌ها

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که اثرات خطی CTPS و CGLY بر مقاومت کششی آمیزه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند (P<۰/۰۵) درحالی‌که اثرات درجه‌دو و اثر خطی متقابل آنها بر مقاومت کششی با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبودند (P>۰/۰۵). علاوه‌بر این، درحالی‌که مقادیر ضریب رگرسیون اثر خطی CTPS و CGLY بر مقاومت کششی (به‌ترتیب ۹/۵۶۷۳- و ۰/۹۴۱۱-) بیانگر تأثیرپذیری معکوس مقاومت کششی از دو فاکتور یادشده بود، اثر فاکتور CTPS بر مقاومت کششی نسبت به اثر CGLY بر آن بسیار شدیدتر بود. همچنین معنی‌دارنبودن اثر خطی متقابل دو فاکتور بر مقاومت کششی، نشان‌دهندهٔ عدم وجود اثر رابطهٔ خطی توأم بین دو فاکتور یادشده بر مقاومت کششی بود. مقادیر ضریب تبیین[1] و ضریب تبیین تطبیق‌یافته[2] و نیز مقدار عدم برازش[3] مدل رگرسیونی درجه‌دو برای مقاومت کششی به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۳، ۰/۹۸۶ و ۰/۲۶۸ بودند که نشان از مناسب‌بودن مدل رگرسیونی درجه‌دو به‌دست‌آمده برای پیش‌بینی اثرات متغیرهای مستقل بر مقاومت کششی داشت. مدل فوق برای مقاومت کششی با رابطهٔ (۳) بیان می‌شود.

رابطهٔ (۳)

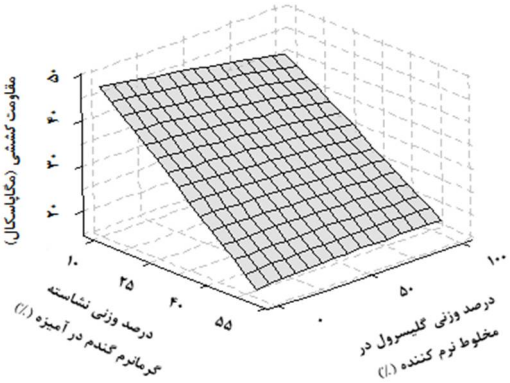
$$Y_1 = 31.0333 - 9.5673X_1 - 0.9411X_2 - 0.0604{X_1}^2 - 0.1604{X_2}^2 + 0.9750X_1X_2$$

در رابطهٔ (۳)، با حذف جملات غیرمعنی‌دار رابطهٔ (۴) برای آن به‌دست می‌آید.

رابطهٔ (۴)

$$Y_1 = 31.0333 - 9.5673X_1 - 0.9411X_2$$

نمودار سطح پاسخ اثر هم‌زمان CTPS و CGLY بر مقاومت کششی در شکل (۱) نشان داده شده است. باتوجه‌به شکل (۱) در هر مقدار CGLY، با افزایش CTPS مقاومت کششی آمیزهٔ سازگار به شدت کاهش یافت، به‌طوری‌که آمیزه با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۱۰ و ۵۰ درصد دارای مقاومت کششی برابر با ۴۳/۳ مگاپاسکال و آمیزه با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۵۰ و ۵۰ درصد دارای کمترین مقدار مقاومت کششی و برابر با ۱۸/۱ مگاپاسکال بود. باتوجه‌به این که نشاستهٔ گرمانرم گندم (شامل ۳۵ درصد وزنی نرم‌کننده) با مقاومت کششی حدود ۱ مگاپاسکال دارای نرمی و انعطاف بسیار بیشتری نسبت به پلی‌لاکتیک اسید با مقاومت کششی حدود ۶۰ مگاپاسکال می‌باشد بنابراین منطقی است که افزایش CTPS، منجربه‌کاهش قابل‌توجه مقاومت کششی آمیزه شد.



شکل ۱ - نمودار سطح پاسخ اثر هم‌زمان درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در مخلوط آن با پلی‌لاکتیک اسید (CTPS) و درصد وزنی گلیسرول در مخلوط آن با سوربیتول (CGLY) بر مقاومت کششی آمیزه‌ها

[1] R-squared, R^2
[2] R^2 (adj)
[3] Lack of Fit

Huneault و Li (۲۰۰۷) خواص آمیزه‌های نشاستهٔ گرمانرم گندم/پلی‌لاکتیک اسید سازگارشده با پلی‌لاکتیک اسید پیوندخورده با انیدرید مالئیک و دارای فاز نشاستهٔ گرمانرم شامل ۳۶ درصد وزنی گلیسرول را موردمطالعه قرار دادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش محتوای نشاستهٔ گرمانرم آمیزه‌ها، مقاومت کششی آنها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت، به‌طوری‌که مقاومت کششی آمیزهٔ با ۲۷/۵ درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم برابر ۴۵ مگاپاسکال و آمیزهٔ با ۸۰ درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم برابر ۱۲ مگاپاسکال بود. دراین‌زمینه نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران منتشر شده است (Li & Huneault, 2011; Ebrahim *et al*., 2016). همچنین در هر مقدار CTPS (به‌استثناء آمیزهٔ شمارهٔ ۳)، کاهش جزئی در مقاومت کششی آمیزهٔ سازگار با افزایش CGLY مشاهده شد، به‌طوری‌که آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۳۰ درصد و صفر درصد دارای مقاومت کششی برابر با ۳۱/۵ مگاپاسکال و آمیزه با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۳۰ درصد و ۱۰۰ درصد دارای مقاومت کششی برابر با ۲۹/۵ مگاپاسکال بود. باتوجه‌به شباهت ساختاری و سازگاری بیشتر نرم‌کنندهٔ گلیسرول نسبت به نرم‌کنندهٔ سوربیتول به نشاستهٔ گندم، نشاسته‌های گرمانرم تهیه‌شده با گلیسرول دارای مقاومت کششی کمتری نسبت به نشاسته‌های گرمانرم تهیه‌شده با سوربیتول در محتوای نرم‌کننده یکسان می‌باشند (Yang *et al*., 2006; Sanyang *et al*., 2015)، بنابراین افزایش CGLY در فاز نشاستهٔ گرمانرم آمیزه‌ها می‌تواند منجربه‌کاهش مقاومت کششی فاز TPS و متعاقباً کاهش مقاومت کششی آمیزه شود.

تأثیر نسبت وزنی سوربیتول به گلیسرول به‌عنوان نرم‌کننده برای نشاستهٔ گرمانرم بر خواص کششی آمیزه‌های سازگار و غیرسازگار نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید با ۲۷ درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم در آمیزه و فاز نشاستهٔ گرمانرم دارای ۳۶ درصد وزنی نرم‌کننده، توسط Li و Huneault (۲۰۱۱) مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، مقاومت کششی آمیزه‌ها (سازگار و غیرسازگار) با افزایش نسبت وزنی گلیسرول به سوربیتول کاهش یافت، به‌طوری‌که آمیزه‌های غیرسازگار با فاز نشاستهٔ گرمانرم تهیه‌شده با سوربیتول و گلیسرول، به‌ترتیب دارای مقاومت کششی برابر با ۵۸ مگاپاسکال و ۴۶/۵ مگاپاسکال و آمیزه‌های سازگار با فاز نشاستهٔ گرمانرم تهیه‌شده با سوربیتول و گلیسرول، به‌ترتیب دارای مقاومت کششی برابر با ۶۱ مگاپاسکال و ۵۲ مگاپاسکال بودند.

بررسی تأثیر هم‌زمان CTPS و CGLY بر مقاومت ضربه‌ای آمیزه‌ها

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که اثرات خطی CTPS و CGLY بر مقاومت ضربه‌ای آمیزه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند (P<۰/۰۵)، درحالی‌که اثرات درجه‌دو و اثر خطی متقابل آنها بر مقاومت ضربه‌ای با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبودند (P>۰/۰۵). علاوه‌بر این، درحالی‌که مقادیر ضریب رگرسیون اثر خطی CTPS و CGLY بر مقاومت ضربه‌ای (به‌ترتیب ۳/۰۴ و ۰/۴۸) بیانگر تأثیرپذیری مستقیم مقاومت ضربه‌ای آمیزه‌ها از دو فاکتور یادشده بود، اثر فاکتور CTPS بر مقاومت ضربه‌ای نسبت به اثر CGLY بر آن بارزتر بود. همچنین معنی‌دارنبودن اثر خطی متقابل دو فاکتور بر مقاومت ضربه‌ای، نشان‌دهندهٔ عدم وجود اثر رابطهٔ خطی توأم بین دو فاکتور یادشده بر مقاومت ضربه‌ای بود.

مقادیر ضریب تبیین و ضریب تبیین تطبیق‌یافته و نیز مقدار عدم برازش مدل رگرسیونی برای مقاومت ضربه‌ای به‌ترتیب برابر ۰/۹۸۴، ۰/۹۶۷ و ۰/۲۸۶ بودند که بیانگر مناسب‌بودن مدل رگرسیونی درجه‌دو به‌دست‌آمده برای پیش‌بینی اثرات متغیرهای مستقل بر مقاومت ضربه‌ای بود. مدل فوق برای مقاومت ضربه‌ای با رابطهٔ (۵) بیان می‌شود.

رابطهٔ (۵)

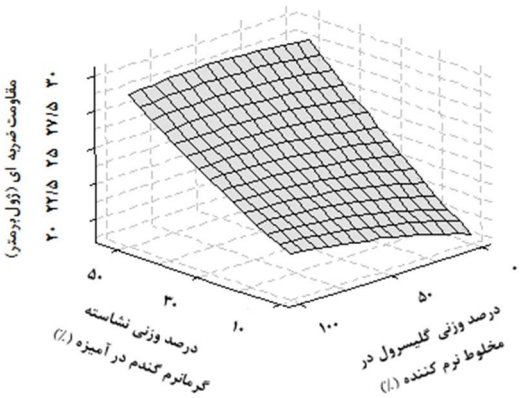
$$Y_2 = 24.7000 + 3.0435X_1 + 0.4798X_2 + 0.1688{X_1}^2 - 0.2063{X_2}^2 - 0.3000X_1X_2$$

در رابطهٔ (۵)، با حذف جملات غیرمعنی‌دار، رابطهٔ (۶) برای آن به‌دست می‌آید.

رابطهٔ (۶)

$$Y_2 = 24.7000 + 3.0435X_1 + 0.4798X_2$$

نمودار سطح پاسخ اثر هم‌زمان CTPS و CGLY بر مقاومت ضربه‌ای در شکل (۲) نشان داده شده است. باتوجه‌به شکل (۲) افزایش هر دو فاکتور CTPS و CGLY، موجب افزایش مقاومت ضربه‌ای آمیزهٔ سازگار شد، به‌طوری‌که آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۱۰ و ۵۰ درصد دارای مقاومت ضربه‌ای برابر با ۲۱/۲ ژول‌برمتر و آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۵۰ و ۵۰ درصد دارای بیشترین مقدار مقاومت ضربه‌ای و برابر با ۲۸/۸ ژول‌برمتر بود. همچنین آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۳۰ و صفر درصد دارای مقاومت ضربه‌ای برابر با ۲۳/۶ ژول‌برمتر و آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۳۰ و ۱۰۰ درصد دارای مقاومت ضربه‌ای برابر با ۲۴/۹ ژول‌برمتر بود. ملاحظه می‌شود که اثر افزایش CTPS بر افزایش مقاومت ضربه‌ای آمیزه مشهودتر از اثر افزایش CGLY بر افزایش مقاومت ضربه‌ای آن بود. ازآنجاکه نشاستهٔ گرمانرم گندم جزء نرم‌تر و گرانروتر آمیزه می‌باشد، بنابراین افزایش غلظت آن در آمیزه و یا افزایش غلظت گلیسرول در مخلوط نرم‌کننده می‌تواند منجربه‌کاهش شکنندگی و جذب بیشتر انرژی ضربه توسط آمیزه شده و درنتیجه افزایش مقاومت ضربه‌ای آمیزه را درپی‌داشته باشد.



شکل ۲ - نمودار سطح پاسخ اثر هم‌زمان درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در مخلوط آن با پلی‌لاکتیک اسید (CTPS) و درصد وزنی گلیسرول در مخلوط آن با سوربیتول (CGLY) بر مقاومت ضربه‌ای آمیزه‌ها

Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که در نانوکامپوزیت‌های نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید/نانورس تهیه‌شده با اکسترودر دوپیچه، با افزایش درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم ذرت (تهیه‌شده با ۳۶ درصد وزنی سوربیتول) در نانوکامپوزیت، برای هر غلظت نانورس، مقاومت ضربه‌ای نانوکامپوزیت افزایش یافت، به‌طوری‌که نانوکامپوزیت با ۳۰ درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم دارای مقاومت ضربه‌ای برابر با ۳۱/۵ ژول‌برمتر و نانوکامپوزیت با ۶۰ درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم دارای مقاومت ضربه‌ای برابر با ۳۶/۵ ژول‌برمتر بود. نتایج مشابهی توسط Zhang و همکاران (۲۰۰۹) برای تأثیر افزایش غلظت نشاستهٔ استیلهٔ گرمانرم بر مقاومت ضربه‌ای آمیزهٔ آن با پلی‌لاکتیک اسید گزارش شد.

بررسی تأثیر هم‌زمان CTPS و CGLY بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها

همان‌طورکه از نتایج جدول (۳) مشاهده می‌شود اثرات خطی فاکتورهای CTPS و CGLY و نیز اثر درجه‌دو CTPS بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند (P<۰/۰۵)، درصورتی‌که اثر درجه‌دو فاکتور CGLY و اثر خطی متقابل دو فاکتور یادشده بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبودند (P>۰/۰۵). علاوه‌بر این، درحالی‌که مقادیر ضریب رگرسیون اثر خطی CTPS و CGLY و اثر درجه‌دو CTPS بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها (به‌ترتیب ۶/۲۱، ۱/۵۹ و ۰/۹۲) بیانگر تأثیرپذیری مستقیم مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها از آنها بود، اثر خطی فاکتور CTPS بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها مشهودتر از اثر خطی فاکتور CGLY و نیز اثر درجه‌دو CTPS بر آن بود. همچنین معنی‌دارنبودن اثر خطی متقابل دو فاکتور بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها، بیانگر عدم وجود اثر رابطهٔ خطی توأم بین دو فاکتور یادشده بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها بود.

مقادیر ضریب تبیین و ضریب تبیین تطبیق‌یافته و نیز مقدار عدم برازش مدل رگرسیونی برای مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۱، ۰/۹۸۲ و ۰/۱۹۶ بودند که مناسب‌بودن مدل رگرسیونی درجه‌دو به‌دست‌آمده برای پیش‌بینی اثرات متغیرهای مستقل بر مقدار جذب رطوبت تعادلی

آمیزه‌ها را نشان داد. مدل فوق برای مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها با رابطهٔ (۷) بیان می‌شود.

رابطهٔ (۷)

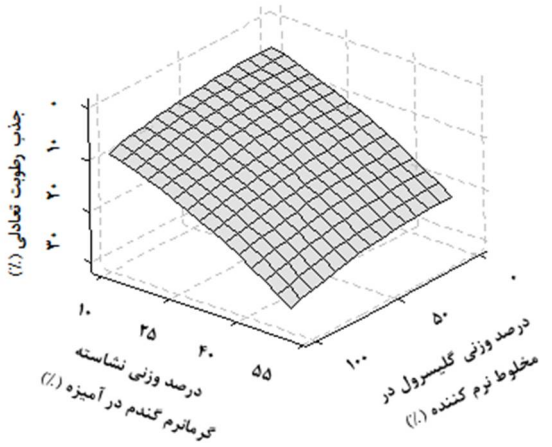
$$Y_3 = 12.8000 + 6.2091X_1 + 1.5860X_2 + 0.9188{X_1}^2 + 0.5188{X_2}^2 + 0.1250X_1X_2$$

در رابطهٔ (۷)، با حذف جمله‌های غیرمعنی‌دار، رابطهٔ (۸) برای آن به‌دست می‌آید.

رابطهٔ (۸)

$$Y_3 = 12.8000 + 6.2091X_1 + 1.5860X_2 + 0.9188{X_1}^2$$

شکل (۳) نمودار سطح پاسخ اثر هم‌زمان CTPS و CGLY بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها را نشان می‌دهد. باتوجه‌به شکل فوق افزایش هر دو فاکتور CTPS و CGLY، موجب افزایش مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزهٔ سازگار شد، به‌طوری‌که آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۱۰ و ۵۰ درصد دارای مقدار جذب رطوبت تعادلی برابر با ۶/۳ درصد و آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۵۰ و ۵۰ درصد دارای بیشترین مقدار جذب رطوبت تعادلی و برابر با ۲۴/۱ درصد بود. همچنین آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۳۰ و صفر درصد دارای مقدار جذب رطوبت تعادلی برابر با ۱۲ درصد و آمیزهٔ با CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر با ۳۰ و ۱۰۰ درصد دارای مقدار جذب رطوبت تعادلی برابر با ۱۶/۸ درصد بود. ملاحظه می‌شود که اثر افزایش CTPS بر افزایش مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه مشهودتر از اثر افزایش CGLY بر افزایش مقدار جذب رطوبت تعادلی آن بود. ویژگی ذاتی آب‌دوست‌بودن نشاستهٔ گرمانرم گندم، موجب می‌شود که با افزایش CTPS، مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه افزایش یابد و ازسوی‌دیگر قطبیت بیشتر سوربیتول از گلیسرول (سوربیتول دارای ۶ گروه هیدروکسیل در مولکول و گلیسرول دارای ۳ گروه هیدروکسیل در مولکول می‌باشد)، که باعث برهم‌کنش‌های قوی‌تر سوربیتول ـ نشاسته نسبت به گلیسرول ـ نشاسته می‌شود، می‌تواند باعث جذب رطوبت کمتر نشاستهٔ گرمانرم تهیه‌شده با سوربیتول از نشاستهٔ گرمانرم تهیه‌شده با گلیسرول شده که این به‌نوبهٔ خود می‌تواند دلیلی برای افزایش مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه با افزایش CGLY باشد (Li & Huneault, 2011; Muller *et al*., 2013; Sanyang *et al*., 2015).



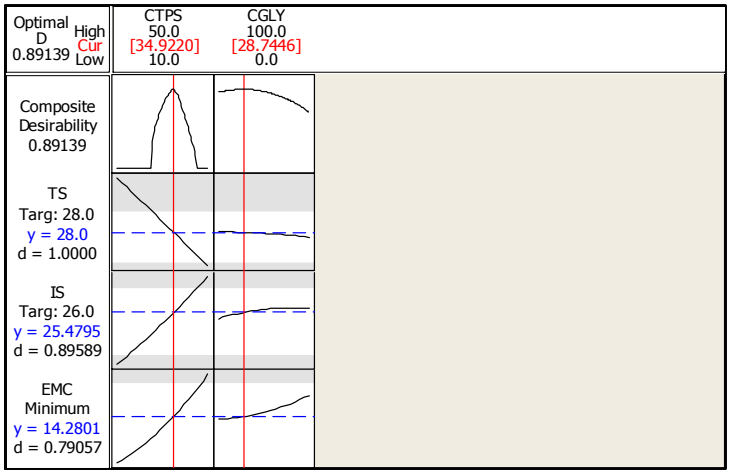
شکل ۳ - نمودار سطح پاسخ اثر هم‌زمان درصد وزنی نشاستهٔ گرمانرم گندم در مخلوط آن با پلی‌لاکتیک اسید (CTPS) و درصد وزنی گلیسرول در مخلوط آن با سوربیتول (CGLY) بر مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها

بهینه‌یابی CTPS و CGLY در آمیزه‌های نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید

سطوح بهینه برای متغیرهای مستقل CTPS و CGLY باتوجه‌به مقادیر مطلوب و هدف متغیرهای وابسته با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب نسخهٔ ۱۶ تعیین شدند که نمودار و مقادیر مربوطه در شکل (۴) آورده شده است. باتوجه‌به کاربرد مدنظر آمیزهٔ نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید به‌عنوان مادهٔ اولیهٔ جایگزین انواع پلی‌استایرن برای ساخت ظروف یک‌بارمصرف کاملاً زیست‌تخریب‌پذیر، مقادیر مطلوب و هدف مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و مقدار جذب رطوبت تعادلی آمیزه به‌ترتیب ۲۸ مگاپاسکال، ۲۶ ژول‌برمتر و حداقل مقدار درنظرگرفته شدند. پلی‌استایرن معمولی[1] و پلی‌استایرن مقاوم به ضربه[2] دو نوع پلی‌استایرن پرمصرف برای ساخت ظروف یک‌بارمصرف با مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و افزایش طول تا نقطهٔ پارگی به‌ترتیب برابر ۵۲/۷-۲۴/۸ مگاپاسکال، ۲۴/۵-۱۱/۲ ژول‌برمتر و ۴-۱ درصد و

[1] General Purpose Polystyrene, GPPS
[2] High Impact Polystyrene, HIPS

۱۸/۳-۲۸/۳ مگاپاسکال، ۶۴-۱۵۰ ژول‌برمتر و ۲۷-۶۳ درصد می‌باشند (Polystyrene, 2017). همان‌طورکه از شکل (۴) مشاهده می‌شود مطلوبیت کل برابر ۰/۸۹ و مطلوبیت متغیرهای وابستهٔ مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و مقدار جذب رطوبت تعادلی به‌ترتیب برابر ۱، ۰/۹ و ۰/۷۹ بود. همچنین سطوح بهینه برای متغیرهای مستقل CTPS و CGLY به‌ترتیب برابر ۳۴/۹ و ۲۸/۷ درصد و مقادیر پیش‌بینی‌شده برای مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و مقدار جذب رطوبت تعادلی به‌ترتیب برابر ۲۸ مگاپاسکال، ۲۵/۵ ژول‌برمتر و ۱۴/۳ درصد بود.



شکل ۴ - نمودار بهینه‌یابی و سطوح بهینهٔ متغیرهای مستقل باتوجه‌به مقادیر مطلوب و هدف متغیرهای وابسته برای آمیزه‌های نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید

آمیزهٔ نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید با مقادیر CTPS وCGLY بهینهٔ به‌ترتیب برابر با ۳۴/۹ و ۲۸/۷ درصد و با فاز نشاستهٔ گرمانرم گندم شامل ۳۵ درصد وزنی مخلوط نرم‌کننده با اکسترودر دوپیچه تهیه شد و مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و مقدار جذب رطوبت تعادلی (برای اندازه‌گیری مقدار جذب رطوبت تعادلی، نمونه‌ها در رطوبت نسبی ۵۳ درصد و دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۷ روز مشروط شدند) آن اندازه‌گیری شد. آزمون‌ها در ۵ تکرار انجام شدند و میانگین داده‌ها تعیین شدند. انحراف نسبی (RD) داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ متغیرهای وابسته با رابطهٔ (۹) محاسبه شد.

رابطهٔ (۹)

$$RD = |(\frac{E-P}{E})| \times 100$$

در رابطهٔ (۹)، E: دادهٔ آزمایشگاهی و P: مقدار پیش‌بینی‌شده برای متغیر وابسته می‌باشند. مقادیر داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی‌شدهٔ متغیرهای وابسته و انحراف نسبی در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴ - داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ متغیرهای وابسته و انحراف نسبی آنها

متغیر	مقاومت کششی (مگاپاسکال)	مقاومت ضربه‌ای (ژول‌برمتر)	مقدار جذب رطوبت تعادلی (درصد)
پیش‌بینی‌شده	۲۸/۰	۲۵/۵	۱۴/۳
آزمایشگاهی	۱/۵±۲۶/۸	۱/۳±۲۴/۹	۱/۴±۱۶/۰
انحراف نسبی (درصد)	۴/۴	۲/۴	۱۰/۶

همان‌طورکه از نتایج جدول (۴) مشاهده می‌شود داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ متغیرهای وابسته اختلاف زیادی با هم نداشتند، لذا نتایج بهینه‌یابی قابل‌قبول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

افزایش دو فاکتور غلظت نشاستهٔ گرمانرم در آمیزهٔ سازگار نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید و غلظت گلیسرول در مخلوط گلیسرول و سوربیتول به‌عنوان نرم‌کننده برای فاز نشاستهٔ گرمانرم، هر دو اما با

شدت‌های متفاوت مقاومت کششی آمیزه را کاهش و مقاومت ضربه‌ای و مقدار جذب رطوبت تعادلی آن را افزایش دادند. مدل رگرسیونی درجه‌دو به‌خوبی اثرات متغیرهای مستقل بر مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای و جذب رطوبت تعادلی آمیزه‌ها را پیش‌بینی نمود. برای آمیزهٔ تهیه‌شده با شرایط بهینه، نبودن اختلاف زیاد میان داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ متغیرهای وابسته، قابل‌قبول‌بودن نتایج بهینه‌یابی را تأیید کرد. آمیزهٔ سازگار نشاستهٔ گرمانرم/پلی‌لاکتیک اسید با مقادیر CTPS و CGLY بهینه، قابلیت جایگزینی با پلی‌استایرن‌ها را به‌عنوان مادهٔ اولیه برای تولید ظروف یک‌بارمصرف کاملاً زیست‌تخریب‌پذیر دارا می‌باشد.

منابع

1- Arboleda, G.A., Montilla, C.E., Villada, H.S., & Verona, G.A. 2015. Obtaining a flexible film elaborated from cassava thermoplastic starch and polylactic acid. International Journal of Polymer Science, Article ID 627268.

2- ASTM International. 2010. Standard test methods for determining the izod pendulum impact resistance of plastics, No, D256-10e1.

3- ASTM International. 2002. Standard test method for tensile properties of plastics, No, D638-02a.

4- Auras, R., Harte, B., & Selke, S. 2004. An overview of polylactides as packaging materials. Macromolecular Bioscience, 4(9):835-864.

5- Dole, P., Joly, C., Espuche, E., Alric, I., & Gontard, N. 2004. Gas transport properties of starch based films. Carbohydrate Polymers, 58(3):335-343.

6- Ebrahimi, H., Afshar Najafi, F.S., Seyed Shahabadi, S.I., & Garmabi, H. 2016. A response surface study on microstructure and mechanical properties of poly (lactic acid)/ thermoplastic starch/nanoclay nanocomposites. Journal of Composite Materials, 50(2):269-278.

7- Huneault, M.A., & Li, H. 2007. Morphology and properties of compatibilized polylactide/ thermoplastic starch blends. Polymer, 48(1):270-280.

8- Iovino, R., Zullo, R., Rao, M.A., Cassar, L., & Gianfreda L. 2008. Biodegradation of poly (lactic acid)/starch/coir biocomposites under controlled composting conditions. Polymer Degradation and Stability, 93(1):147-157.

9- Li, H., & Huneault, M.A. 2011. Comparison of sorbitol and glycerol as plasticizers for thermoplastic starch in TPS/PLA blends. Journal of Applied Polymer Science, 119(4):2439-2448.

10- Lorcks, J. 1998. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. Polymer Degradation and Stability, 59(1-3):245-249.

11- Lu, D.R., Xiao, C.M., & Xu, S.J. 2009. Starch-based completely biodegradable polymer materials. Express Polymer Letters, 3(6):366-375.

12- Mugnozza, G.S., Schettini, E., Vox, G., Malinconico, M., Immirzi, B., & Pagliara, S. 2006. Mechanical properties decay and morphological behavior of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment. Polymer Degradation and Stability, 91(11):2801-2808.

13- Muller, C.M.O., Pires, A.T.N., & Yamashita, F. 2012. Characterization of thermoplastic starch/poly (lactic acid) blends obtained by extrusion and thermopressing. Journal of the Brazilian Chemical Society, 23(3):426-434.

14- Nampoothiri, K.M., Nair, N.R., & John, R.P. 2010. An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. Bioresource Technology, 101(22):8493-8501.

15- Phetwarotai, W., Potiyaraj, P., & Aht-Ong, D. 2012. Characteristics of biodegradable polylactide/ gelatinized starch films: effects of starch, plasticizer, and compatibilizer. Journal of Applied Polymer Science, 126(S1): E162-E172.

16- Polystyrene (PS). Typical properties generic PS. Visited in June 2017. Available online at: https://plastics.ulprospector.com/generics/43/polystyrene-ps.

17-Ren, J., Fu, H., Ren, T., & Yuan, W. 2009. Preparation, characterization and properties of binary and ternary blends with thermoplastic starch, poly (lactic acid) and poly (butylene adipate-*co*-terephthalate). Carbohydrate Polymers, 77(3):576-582.

18-Sanyang, M.L., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Ishak, M.R., & Sahari, J. 2015. Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (*arenga pinnata*) starch. Polymers, 7(6):1106-1124.

19-Souza, R.C., & Andrade, C.T. 2002. Investigation of the gelatinization and extrusion processes of corn starch. Advances in Polymer Technology, 21(1):17-24.

20-Spiess, W.E.L., & Wolf, W.R. 1983. The Results of the COST 90 project on water activity. P. 65-91. IJowitt, R. Escher, F. Hallstron F.B. Meffer, M.F. Spiess, W.E.I. Aos, G. (eds.) Physical properties of foods. Applied Science Publishers, London.

21-Stepto, R.F.T. 2003. The processing of starch as a thermoplastic. Macromolecular Symposia, 201(1):203-212.

22-Teixeira, E.M., Pasquini, D., Curvelo, A.A.S., Corradini, E., Belgacem, M.N., & Dufresne, A. 2009. Cassava bagasses cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. Carbohydrate Polymers, 78(3):422-431.

23-Wang, N., Yu, J., & Ma, X. 2007. Preparation and characterization of thermoplastic starch/PLA blends by one-step reactive extrusion. Polymer International, 56(11):1440-1447.

24-Yang, J.H., Yu, J.G., & Ma, X.F. 2006. Study on the properties of ethylenebisformamide and sorbitol plasticized corn starch (ESPTPS). Carbohydrate Polymers, 66(1):110-116.

25-Yokesahachart, C., & Yoksan, R. 2011. Effect of amphiphilic molecules on characteristics and tensile properties of thermoplastic starch and its blends with poly (lactic acid). Carbohydrate Polymers, 83(1): 22-31.

26-Yu, L., Dean, K., & Li, L. 2006. Polymer blends and composites from renewable resources. Progress in Polymer Science, 31(6):576-602.

27-Zhang, K.Y., Ran, X.H., Zhuang, Y.G., Yao, B., & Dong, L.S. 2009. Blends of poly (lactic acid) with thermoplastic acetylated starch. Chemical Research in Chinese Universities, 25(5):748-753.

28-Zhang, Y., Yuan, X., Liu, Q., & Hrymak, A. 2012. The effect of polymeric chain extenders on physical properties of thermoplastic starch and polylactic acid blends. Journal of Polymers and the Environment, 20(2):315-325.

Optimization of the Effects of Thermoplastic Starch and Glycerol Concentration on Physicomechanical Properties of Polylactic acid/Thermoplastic Starch Blend by Response Surface Methodology

Mohammad Reza Abdollahi Moghaddam[1,2], Seyed Mohammad Ali Razavi[3*], Yousef Jahani[4]

1- Former PhD student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Assistant Professor, Department of food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
* Corresponding author (s.razavi@um.ac.ir)
4- Professor, Department of Plastics, Faculty of Polymer Processing, Iran Polymer & Petrochemical Institute, Tehran, Iran

Abstract

Polylactic acid (PLA)/Thermoplastic starch (TPS) blends as fully biodegradable materials have the potential of substituting petroleum-derived synthetic polymers for packaging applications and, especially producing disposable containers. In the present research the mentioned blends with compatibilizer were prepared by melt mixing method and the simultaneous effect of the factors of TPS weight percentage (CTPS) on the blend in the range of 10-50% and the glycerol weight percentage in its mixture with sorbitol (CGLY) in the range of 0-100% on tensile strength, impact strength and equilibrium moisture content of the blends was investigated by the response surface methodology. According to the obtained results, the blend with the optimum amounts of CTPS and CGLY of 34.9% and 28.7% respectively had the tensile strength, impact strength and equilibrium moisture content of 28 MPa, 25.5 J/m, and 14.3% respectively. The compatibilized PLA/TPS blend with the optimum amounts of CTPS and CGLY of 34.9% and 28.7% respectively, and the TPS phase containing 35 wt% of mixed plasticizer was prepared by a co-rotating twin screw extruder and its tensile strength, impact strength and equilibrium moisture content were measured. The relative deviation of the experimental data and the data predicted by the regression model for tensile strength, impact strength and equilibrium moisture content were 4.4%, 2.4% and 10.6% respectively.

Keywords: Optimization, Physicomechanical, Polylactic Acid, Response Surface, Thermoplastic Starch

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۳۳۶-۳۲۳

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

تأثیر افزودن آرد و نشاستهٔ سیب‌زمینی بر ویژگی‌های کیفی و بیاتی کیک اسفنجی

سیددانیال مجربی[1*]، جعفر محمدزاده میلانی[2]

۱- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، تکنولوژی صنایع غذایی، دانشگاه غیردولتی خزر محمودآباد، محمودآباد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (danyalmojarabi@gmail.com)
۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

واژه‌های کلیدی
خواص فیزیکوشیمیایی
رطوبت
مشاهده‌های ریزساختاری
مؤلفه‌های رنگ

چکیده

انواع کیک به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین محصولات فرپزی در دنیا می‌باشند. باتوجه‌به قدرت بالای نشاستهٔ سیب‌زمینی در نگهداری آب، در این پژوهش آرد گندم به میزان ۱۰ درصد با آرد و نشاستهٔ سیب‌زمینی در تولید کیک اسفنجی جایگزین شد تا نقش ترکیبات غیرنشاسته‌ای سیب‌زمینی بر این ویژگی‌ها مشخص گردد. نمونه‌ها از لحاظ آزمون‌های شاخص حجم، تقارن و یکنواختی کیک، تخلخل، مشاهده‌های ریزساختاری، رطوبت مغز و پوستهٔ کیک، ویژگی‌های حسی و مؤلفه‌های رنگ (L^*، a^* و b^*) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد نمونهٔ حاوی آرد سیب‌زمینی حجم بالاتری نسبت به دو نمونهٔ دیگر داشت و افزودن آرد و نشاستهٔ سیب‌زمینی سبب بهبود وضعیت تخلخل کیک گردیدند و نیز نمونهٔ حاوی آرد سیب‌زمینی همراه با نمونهٔ شاهد ازنظر ویژگی‌های حسی پذیرش بیشتری نزد داوران داشت. نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی بعد از گذشت ۱۴ روز رطوبت بیشتری نسبت به دو تیمار دیگر درون خود حفظ نمود که درنتیجهٔ آن بیاتی کیک‌های حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی به‌تعویق افتاد. نتایج ارزیابی مؤلفه‌های رنگ (L^*، a^* و b^*) نشان داد که جایگزینی آرد گندم به میزان ۱۰ درصد با آرد سیب‌زمینی بیشترین میزان L^* را در مغز کیک داشت ولی در پوستهٔ کیک بیشترین میزان L^* و b^* در بین سه تیمار مختلف مربوط به نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی بود. درنهایت باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت جایگزینی آرد گندم به میزان ۱۰ درصد با آرد سیب‌زمینی باعث بهبود ویژگی‌های کیفی کیک ازجمله افزایش قابل‌توجه حجم کیک گردید.

مقدمه

محصولات آردی از پرمصرف‌ترین محصولات غذایی در سراسر جهان محسوب می‌شود. از میان این محصولات، کیک به واسطهٔ ویژگی‌های حسی مناسب، مورد استقبال و پسند مصرف‌کنندگان واقع شده است (Mastakidou *et al*., 2010).کیفیت کیک به عوامل مختلفی وابسته است. انتخاب مواد تشکیل‌دهنده و اطلاع از عملکرد آنها اولین قدم برای افزایش کیفیت محصول می‌باشد. میزان و نحوهٔ استفاده از مواد اولیه باتوجه‌به نوع کیک متفاوت می‌باشد اما به‌طورکلی نوع مواد اولیهٔ اصلی در تمامی کیک‌ها مشترک می‌باشد. اجزاء اصلی کیک عبارتند از: آرد گندم، شکر، تخم‌مرغ، روغن و آب. آرد گندم مادهٔ اولیهٔ اصلی برای تولید کیک می‌باشد و عاملی است که درجهت شکل‌دادن به خمیر و بافت محصول نهایی عمل می‌کند. یکی از موادی که قابلیت جایگزین‌کردن با

این ترکیب را دارد آرد سیب‌زمینی می‌باشد. آرد سیب‌زمینی یکی از قدیمی‌ترین فراورده‌های سیب‌زمینی است که کیفیت خوراکی آن مانند سیب‌زمینی پخته و تازه است (Willard & Hix, 1987). این محصول به‌طور گسترده‌ای در کشورهای دارای صنعت فراوری سیب‌زمینی تولید و مصرف می‌شود. آرد سیب‌زمینی دومین مادهٔ جامد تشکیل‌دهندهٔ برخی از نان‌ها و کیک‌ها می‌باشد که معمولاً در کشورهای اسکاندیناوی تهیه می‌شوند. Pyler (۱۹۷۳) گزارش کرد که آرد سیب‌زمینی طعم مشخص و غالبی در محصولات نانوایی ایجاد می‌کند و سفت‌شدن و بیاتی محصول را کاهش می‌دهد و به حجیم‌شدن محصول کمک می‌کند. نشاستهٔ طبیعی سیب‌زمینی جسمی چسبنده و کش‌دار است. از نشاستهٔ سیب‌زمینی بیشتر در صنایع کاغذسازی تا ۶۰ درصد و سپس نساجی با ۳۰ درصد و ۱۰ درصد در صنایع غذایی کاربرد دارد. همچنین ضایعات فرایند تولید نشاستهٔ سیب‌زمینی که عمدتاً حاوی مواد فیبری و سلولزی پوست سیب‌زمینی می‌باشد پس از پرس‌کردن و کاهش درصد رطوبت آن برای خوراک دام می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. استفاده از نشاستهٔ سیب‌زمینی در تولید انواع اسنک باعث می‌شود که محصول تولیدشده دارای طعمی مطبوع و نسبتاً شیرین و بافتی یک‌دست گردد. همچنین نشاستهٔ تاپیوکا به‌خوبی حالت ورقه‌ورقه به خود می‌گیرد و در برابر شکستن مقاوم است. افزودن نشاستهٔ سیب‌زمینی یا ترکیبی از نشاسته‌های اصلاح‌شده با دمای ژلاتینه‌شدن پایین و ویسکوزیتهٔ بالا باعث بهبود طعم و همچنین افزایش مدت ماندگاری کیک و نان می‌شود (Sikora *et al.*, 2015).

پژوهش‌های متعددی درخصوص کاربرد آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی در بافت نان و کیک اسفنجی به‌منظور بهبود خواص کیفی و بیاتی آنها انجام شده است (یقبانی و کوچکی، ۱۳۹۲). طبق تحقیق‌هایی که توسط اکبری و همکاران (۱۳۹۲) انجام شد اثرات افزودن مقادیر ۱، ۲، ۴، ۸ و ۱۰ درصد (وزنی/وزنی بر پایهٔ آرد) پورهٔ دو رقم سیب‌زمینی (اگریا[1] و سانته[2])، بر کیفیت و بیاتی نان بررسی شد. ویژگی‌های مختلف نان شامل حجم مخصوص، آون اسپرینگ، یکنواختی شکل، تخلخل بافت مغز، محتوای رطوبتی مغز، سفتی بافت، ریزساختار نان توسط میکروسکوپ الکترونی و خصوصیات حسی مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش درصد پورهٔ سیب‌زمینی، خصوصیات کیفی در نمونه‌ها بهبود یافت. بررسی نتایج بافت، ریزساختار و تخلخل بهبود بافت نمونه‌ها و ایجاد ساختاری ظریف و یکنواخت را با افزایش درصد پورهٔ سیب‌زمینی نشان داد که درنهایت نمونهٔ ۱۰ درصد بیشترین بهبود بافت را در نان داشت.

Curti و همکاران (۲۰۱۴) استفاده از فیبر سیب‌زمینی به‌منظور بهبود خواص فیزیکوشیمیایی نان در طول نگهداری را مورد پژوهش قرار دادند. فیبر حاصله از پوست سیب‌زمینی به‌دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب حتی در مقدار کم، موردمطالعه قرار گرفت و تمام خواص فیزیکوشیمیایی نان ازجمله فعالیت آبی، رطوبت، مقدار آب درون‌بافتی و کاهش آمیلوپکتین را با اضافه‌نمودن فیبر سیب‌زمینی به میزان ۰/۴ درصد آرد گندم پس از گذشت ۷ روز از ذخیره‌سازی مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست‌آمده بدین‌گونه بود که فیبر سیب‌زمینی علاوه‌بر فعالیت آبی، رطوبت نسبی نان را تحت‌تأثیر قرار داد و تغییرات تحرکات مولکولی در مغز نان کاهش یافت. این فیبر باعث بهبود بافت نان ازطریق گرفتن آب میان‌بافتی در طول ذخیره‌سازی شد.

Dako و همکاران (۲۰۱۶) روی اثر مخلوط‌کردن آرد سیب‌زمینی شیرین با آرد گندم بر خواص تغذیه‌ای، خصوصیات کیفی و ویژگی‌های حسی نان مطالعه کردند. به‌دلیل بالابودن مواد مغذی در سیب‌زمینی‌های با رنگ نارنجی در مقایسه با ارقام زردرنگ و سفیدرنگ، از سیب‌زمینی‌های نارنجی برای درست‌کردن آرد و سپس ترکیب آن با ۶ نسبت از آرد گندم (۱۰۰:۰، ۹۵:۵، ۹۰:۱۰، ۸۵:۱۵، ۸۰:۲۰ و ۷۵:۲۵) استفاده شد و درنهایت به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های ساختاری ترکیب آرد ازقبیل گلوتن مرطوب و ظرفیت جذب آب کاهش داشت. پارامترهای

[1] Agrea
[2] Sante

کیفی نان مانند میزان حجم، حجم مخصوص و ارتفاع به‌طور معنی‌داری کاهش یافت اما وزن خمیر به‌دلیل افزایش نسبت ترکیب آرد سیب‌زمینی شیرین افزایش نشان داد.

مواد و روش‌ها

مواد

- نشاستهٔ سیب‌زمینی: نشاستهٔ سیب‌زمینی از شرکت وارداتی stage از شهر تهران به قیمت هر کیلو ۳۰۰,۰۰۰ ریال تهیه شد.
- آرد سیب‌زمینی: از شرکت آرد گلها از شهرستان ساری به قیمت هر بسته ۲۰۰ گرمی ۱۰۰,۰۰۰ ریال خریداری شده و تا زمان مصرف مطابق دستورالعمل نگهداری شد. آرد گندم، شکر، روغن آفتاب‌گردان، آب و بیکینگ‌پودر و وانیل از فروشگاه‌های در سطح شهرستان ساری تهیه گردیدند.

تهیهٔ خمیر و آماده‌سازی نمونه

طبق دستورالعمل محمدزاده میلانی (۱۳۹۴) خمیر کیک تهیه‌شده و به مقدار مشخص ۱۰ درصد (میزان ۱۰ درصد باتوجه‌به آزمون و خطاهای بسیار در مقیاس‌های متفاوت به‌دست آمد، در مقیاس کمتر از ۱۰ درصد اثر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های کمی و کیفی کیک نداشتند و در مقیاس بالاتر از این اثرات سویی بر خصوصیات فیزیکی کیک دیده شد.) نشاسته یا آرد سیب‌زمینی جایگزین آرد گندم گردید، سپس پخت کیک در دما و زمان مشخص (دما ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۳۰ دقیقه) صورت‌گرفت. دستورالعمل طبق فرمولاسیون محمدزاده میلانی (۱۳۹۴) بدین شرح بود: در ابتدا ۱۰۰ گرم آرد را طبق پیمانه برداشته و مابقی مواد بر مبنای آرد به میزان، شکر ۷۲ درصد، روغن ۵۷ درصد، تخم‌مرغ ۷۲ درصد، بیکینگ‌پودر ۱ درصد، وانیل به مقدار لازم، آب ۲۵ درصد و آرد سیب‌زمینی یا نشاستهٔ سیب‌زمینی به میزان ۱۰ درصد جایگزین آرد گندم شد. جهت تهیهٔ خمیر کیک، در ابتدا تخم‌مرغ با همزن (مدل M240 شرکت black&decker، ساخت انگلستان) به مدت ۵ دقیقه هم‌زده شد و سپس شکر و وانیل اضافه‌شده و به مدت ۱۰ دقیقه هم‌زده و بعد روغن به آن اضافه گردید و مخلوط به‌دست‌آمده ۵ دقیقهٔ دیگر هم‌زده شد. سپس میزان موردنظر آرد گندم و آرد سیب‌زمینی یا نشاستهٔ سیب‌زمینی به‌طور پیوسته همراه با آب و مقدار لازم بیکینگ‌پودر اضافه شد به‌گونه‌ای که ترکیب یکنواختی به‌دست آمد و درنهایت درون قالب ریخته و درون آون با دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۳۰ دقیقه پخته و بعد از خنک‌سازی تا زمان انجام آزمون‌ها درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی و در دمای محیط نگهداری شد. نمونه‌ها قبل از پخت طی شرایط کاملاً پاستوریزه نگهداری شدند.

محاسبهٔ شاخص‌های حجم، تقارن و یکنواختی

جهت محاسبهٔ اندیس‌های شاخص حجم، تقارن و یکنواختی از روش AACC ۱۰-۹۰ (AACC, 2001) با اندکی اصلاحات (Turabi *et al*., 2008) استفاده شد. در این روش کیک به‌صورت عمودی از مرکز برش داده شد و ارتفاع نمونهٔ کیک در ۳ نقطهٔ متفاوت (B، C و D) در ناحیه‌ای که برش‌داده‌شده اندازه‌گیری شد. باتوجه‌به این روش شاخص‌های حجم، تقارن و یکنواختی مطابق رابطهٔ (۱)، (۲) و (۳) محاسبه شدند:

رابطهٔ (۱)

$$\text{شاخص حجم} = B+C+D$$

رابطهٔ (۲)

$$\text{شاخص تقارن} = 2C-B-D$$

رابطهٔ (۳)

$$\text{شاخص یکنواختی} = B-D$$

در رابطهٔ (۱، ۲ و ۳)، C ارتفاع کیک در نقطهٔ مرکزی و B و D نقاطی به فاصلهٔ ۲/۵ سانتی‌متر از نقطهٔ مرکزی در دو سمت چپ و راست هستند (Turabi *et al*., 2008; AACC, 2001).

اندازه‌گیری رطوبت مغز و پوستهٔ کیک

۱ گرم از مغز کیک در پتری‌دیش با وزن مشخص (در آون ۲±۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرارداده‌شده و به وزن ثابت رسیده) توزین شد و نمونه به مدت ۲ ساعت درون آون با دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد گذاشته شد تا اینکه خشک‌شده و به وزن ثابت رسید. پس از

قراردادن درون دسیکاتور و کاملاً خنک‌شدن، ظروف همراه نمونه توزین شدند. رطوبت نمونه‌ها از اختلاف بین پتری‌دیش با نمونهٔ قبل از گذاشتن درون آون و بعد از خروج از آن به‌دست آمد، رطوبت در فواصل زمانی روزهای ۱، ۷ و ۱۴ اندازه‌گیری شد (Shittu *et al*., 2008).

ویژگی‌های ریزساختار

تکه‌های کوچک کیک در ابعاد ۲×۳ میلی‌متر از ناحیهٔ مرکزی بریده شد. نمونه‌ها در یک نگهدارندهٔ نمونهٔ برنجی با چسب کربن چسبانده شدند، سپس با نیتروژن مایع منجمد شدند. نگهدارندهٔ نمونه در یک نگهدارندهٔ گاز زمزاییک انتقالی نصب‌شده و توسط یک سیستم آماده‌سازی غیراختصاصی در یک مرحله به ۹۳- درجهٔ سانتی‌گراد منتقل شد. در این اتاق انجماد، نمونه به‌سرعت به مدت ۲۳ دقیقه در دمای ۹۳- درجهٔ سانتی‌گراد در ۰/۱۳ پاسکال به‌منظور خروج بخار آب‌های اضافی، به‌روش انجمادی خشک شد. نمونه‌ها پس از خشک‌شدن توسط خشک‌کن انجمادی (مدل Fd4، ساخت ایران) روی پایه‌های ویژه تثبیت و فرایند طلاکوبی روی آن صورت‌گرفت. سپس نمونه‌ها آمادهٔ بررسی ریزساختار با میکروسکوپ الکترونی شدند. نمونه‌های حفاظت‌شده در دمای ۱۲۲- درجهٔ سانتی‌گراد و فشار ۴×۱۰^{-۲} پاسکال به میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل Leo-ovp، ساخت ژاپن)(SEM)[1] نشری منتقل شدند و عکس‌ها به‌صورت دیجیتالی ضبط شدند (Mastakidou *et al*., 2010).

آزمون رنگ

برای تصویرگیری، هر نمونهٔ کیک که از وسط برش‌داده، در اتاقکی با دیواره‌های مشکی که بازتاب نور نداشت، قرار داده شد. برای ایجاد نور از لامپ‌های فلورسنت استفاده شد. تصویرگیری با استفاده از دوربین Canon (EOS 1000D، ساخت ژاپن) و نرم‌افزار EOS Utility انجام شد که با درگاه USB به رایانه متصل بود. تصاویر با فرمت JPG ذخیره شدند. پارامترهای L^* (روشنایی)، b^* (زردی) و a^* (قرمزی) رنگ پوسته و مغز کیک بررسی شد (Wilderjanes *et al*., 2013). شایان ذکر است برای اندازه‌گیری رنگ بافت یا مغز کیک، پوستهٔ رویی و اطراف کیک جداشده و سپس رنگ بافت مشابه آنچه درمورد رنگ پوسته بیان شد مورد ارزیابی قرار گرفت.

اندازه‌گیری تخلخل کیک

درخصوص این آزمون کلیهٔ نمونه‌ها توسط اسکنر (HP، مدل G3110، ساخت چین) اسکن شدند. اندیس‌های مربوط به تخلخل مانند کوچک‌ترین اندازهٔ حفره‌ها، بزرگ‌ترین اندازهٔ حفره‌ها، سطح میانگین حفره‌ها و یکنواختی به‌وسیلهٔ نرم‌افزار Image Pro Plus 4.5 با بزرگ‌نمایی حداقل ۶۰۰ دی‌پی‌آی محاسبه شد.

آزمون حسی

ویژگی‌های حسی کیک توسط ۱۰ نفر ارزیاب مورد بررسی قرار گرفت. به‌این‌منظور سه تیمار کیک (نمونهٔ آرد سیب‌زمینی، نمونهٔ نشاستهٔ سیب‌زمینی و نمونهٔ شاهد) به‌همراه ۳ فرم ارزیابی ۷ قسمتی شامل فرم و شکل، خصوصیات سطح زیرین کیک اسفنجی، خصوصیات پوسته و سطح رویی کیک اسفنجی، پوکی و تخلخل، قابلیت جویدن، سفتی و نرمی بافت و ساختار کیک اسفنجی، طعم و مزه و بوی کیک اسفنجی در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفت. در ارزیابی حسی از روش هدونیک پنج‌نقطه‌ای که امتیاز ۱ نشان‌دهندهٔ کمترین مطلوبیت و امتیاز ۵ نمایانگر بیشترین مطلوبیت برای صفت مورد ارزیابی می‌باشد، استفاده شد. امتیاز نهایی با استفاده از رابطهٔ (۴) محاسبه گردید (Ronda *et al*., 2005; Lee *et al*., 2008).

رابطهٔ (۴)

مجموع ضرایب/امتیاز نهایی==مجموع امتیازها

تجزیه‌وتحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل نتایج، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخهٔ ۱۹ صورت گرفت و به‌صورت میانگین انحراف معیار از سه تکرار مستقل نشان داده شد. برای تعیین معنی‌داربودن اختلاف میان نتایج از آنالیز واریانس

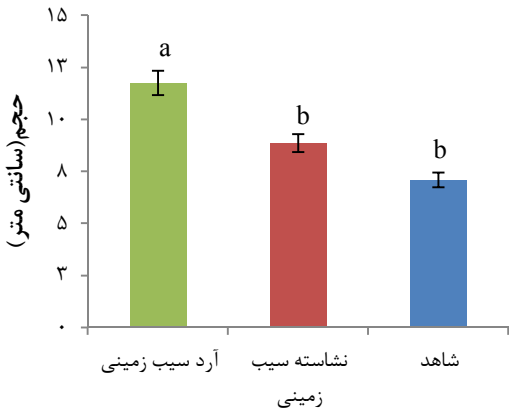
[1] Scanning Electron Microscopy

یک‌طرفه در سطح (a=۰/۰۵) و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

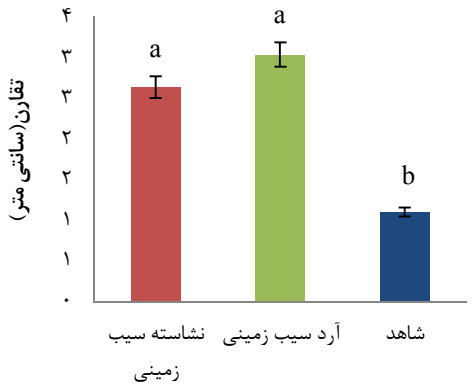
نتایج

شاخص حجم، تقارن و یکنواختی

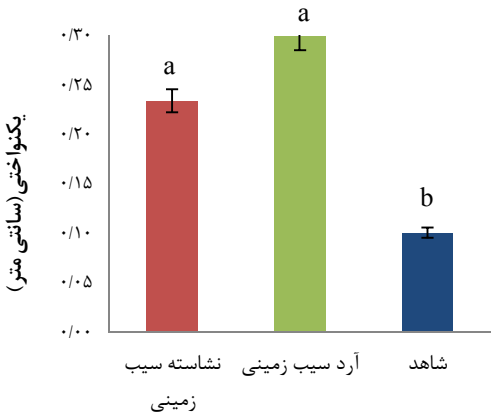
شکل (۱)، (۲) و (۳) نتایج مربوط به شاخص حجم، تقارن و یکنواختی کیک اسفنجی را نشان می‌دهند. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده افزودن آرد سیب‌زمینی سبب افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) شاخص حجم نمونه‌ها شد. شاخص تقارن نیز با افزودن آرد سیب‌زمینی نسبت به نشاستهٔ سیب‌زمینی و نمونهٔ شاهد افزایش محسوسی داشت، همچنین شاخص تقارن نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی نیز نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش نشان داد (P<۰/۰۵). تقارن بیشتر، به‌علت پخش منظم و بهتر حباب‌های هوا که به‌عنوان هسته‌های اولیه جهت توزیع گاز حاصل از مواد شیمیایی پوک‌کننده عمل می‌کنند، می‌باشد (پیغمبردوست، ۱۳۸۸). میزان شاخص یکنواختی در هر سه تیمار مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین دو نمونهٔ نشاستهٔ سیب‌زمینی و آرد سیب‌زمینی با یکدیگر وجود نداشت ولی نمونهٔ شاهد با اختلاف معنی‌داری از دو تیمار دیگر از یکنواختی پایین‌تری برخوردار بود که Ebeler و Walker (۱۹۸۴) به نتایج مشابهی ازنظر یکنواختی دست یافتند. درنهایت می‌توان گفت نمونهٔ حاوی آرد سیب‌زمینی از بالاترین میزان حجم، تقارن و یکنواختی نسبت به دو نمونهٔ دیگر (P<۰/۰۵) برخوردار بود.



شکل ۱- مقایسهٔ شاخص حجم سه تیمار مختلف (شاهد، آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی)



شکل ۲- مقایسهٔ شاخص تقارن سه تیمار مختلف (شاهد، آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی)

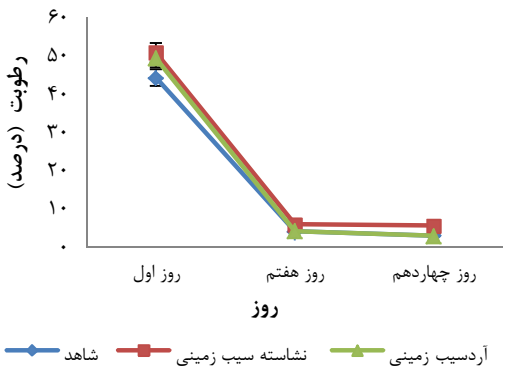


شکل ۳- مقایسهٔ شاخص یکنواختی سه تیمار مختلف (شاهد، آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی)

رطوبت مغز و پوسته

همان‌طورکه در شکل (۴) مشخص است در روز اول، کیک حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی و آرد سیب‌زمینی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ازنظر رطوبت نداشتند (P>۰/۰۵) ولی میزان رطوبت نمونهٔ شاهد با اختلاف معنی‌داری کمتر از دو تیمار دیگر بود (P<۰/۰۵). همان‌گونه‌که در شکل (۴) مشخص است، با گذشت زمان، میزان یا محتوای رطوبت نمونه‌های کیک کاهش می‌یابد. نتایج پس از ۷ روز نگهداری نمونه‌ها روند تقریباً مشابهی را نشان داد. پس از گذشت ۷ و ۱۴ روز تیمار نشاستهٔ سیب‌زمینی از بالاترین میزان رطوبت برخوردار بود که دارای اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) با دو تیمار دیگر بود ولی تیمارهای شاهد و آرد سیب‌زمینی هیچ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. با بررسی میزان رطوبت پس از گذشت ۱۴ روز از نگهداری نمونه‌ها مشخص شد که نمونه‌های

نشاستهٔ سیب‌زمینی رطوبت بیشتری را درون خود حفظ کردند و اختلاف معنی‌داری در مقدار رطوبت با دو تیمار دیگر داشتند ($P<۰/۰۵$) ولی تیمارهای کیک شاهد و کیک آرد سیب‌زمینی پس از گذشت ۱۴ روز اختلاف معنی‌داری نداشتند. میزان رطوبت کیک فاکتور مناسبی برای ارزیابی عمر ماندگاری و پایداری میکروبیولوژی مواد غذایی محسوب می‌گردد. بنابراین انتظار می‌رود نمونه‌های کیک تهیه‌شده با نشاستهٔ سیب‌زمینی به‌علت رطوبت بالاتر و فعالیت آبی بیشتر در این نمونه دارای عمر ماندگاری کمتر نسبت به دو کیک نمونهٔ شاهد و کیک آرد سیب‌زمینی باشند (Winkelhausen *et al.*, 2007). ازدست‌دادن دیرتر رطوبت بیانگر این موضوع است که هرچه رطوبت مغز کیک دیرتر کاهش یابد و مهاجرت رطوبت از مغز کیک به سطح آن کندتر صورت گیرد، درنتیجه بیاتی کیک به‌تعویق می‌افتد (Katina *et al.*, 2006). در پژوهش انجام‌شده در تیمار نشاستهٔ سیب‌زمینی رطوبت مغز کیک با سرعت پایین‌تری نسبت به دو تیمار دیگر کاهش نشان داد درنتیجه می‌توان بیان نمود کیک حاصل از نشاستهٔ سیب‌زمینی دیرتر بیات می‌گردد. همچنین می‌توان گفت که گرانول‌های نشاستهٔ سیب‌زمینی توانایی بالاتری در به‌دام‌انداختن آب در شبکهٔ خود را دارند که این موضوع سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شوند (Gerrard *et al.*, 1998). موحد و همکاران (۱۳۹۲) به نتایج مشابهی ازنظر میزان رطوبت و بیاتی دست‌یافته بودند. وقتی آب، ترکیبات مغز کیک را ترک می‌کند دیگر نمی‌تواند نقش شکل‌دهی خود را اعمال کند و به‌همین علت سفتی مغز کیک افزایش می‌یابد. تمایل بالای نشاستهٔ سیب‌زمینی به جذب آب و توانایی آن در حفظ آب سبب کاهش آب در دسترس نشاسته و به‌دنبال آن کاهش کریستالیزاسیون نشاسته می‌گردد (Vittadini & Vodovotz, 2003). اکبری و همکاران (۱۳۹۲) نیز با مطالعه روی بهبود ویژگی‌های کیفی نان با استفاده از پورهٔ سیب‌زمینی به نتایج یکسانی دست یافتند.



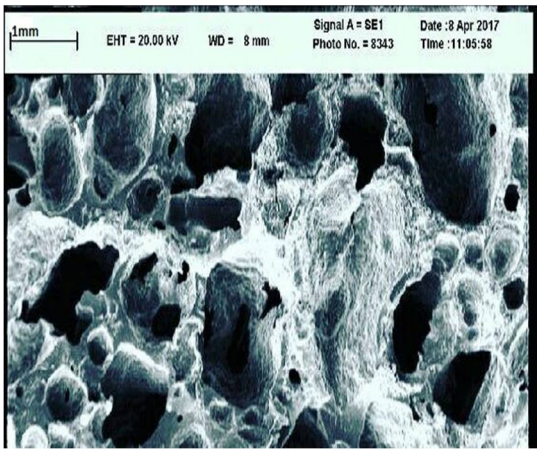
شکل ۴- رطوبت سه تیمار مختلف (شاهد، آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی)

مشاهده‌های ریزساختاری

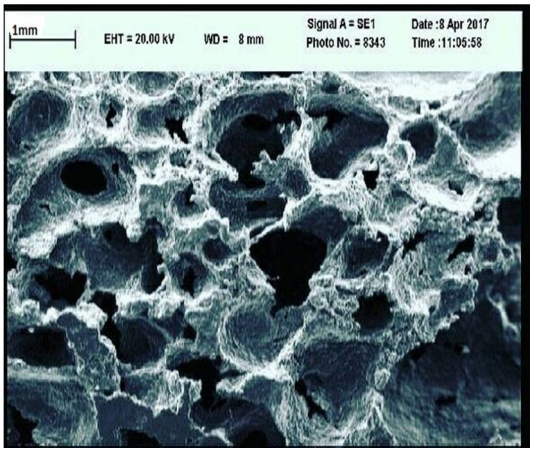
تصویر نمونه‌های حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی که در شکل (۵-ب) مشاهده می‌شود، ساختاری پیچیده با حفره‌های نسبتاً بزرگ را نشان می‌دهد و همچنین ارتباط محکمی بین تمام ترکیبات موجود نیز دیده می‌شود که سبب ایجاد این پیچیدگی در بین ساختار شده است. تصویر ریزساختار کیک حاوی نمونه‌های آرد سیب‌زمینی متفاوت با نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی بود. در این نمونه حفره‌های بزرگ‌تر، کمتر دیده می‌شود و تعداد بیشتری از گرانول‌های نشاسته ساختار خود را بدون تغییر و به‌صورت دست‌نخورده حفظ کرده است. با عدم ژلاتیناسیون برخی از گرانول‌ها امکان روتروگراداسیون آنها و به‌دنبال آن سفتی و بیاتی کاهش می‌یابد. علاوه‌بر این علت کمتربودن حفره‌ها در کیک حاوی آرد سیب‌زمینی را می‌توان به وجود ناخالصی‌های دیگر در کنار نشاستهٔ سیب‌زمینی نسبت داد (Singh *et al.*, 2005).

گرانول‌های نشاستهٔ آرد گندم در زیر لایه‌ای شفاف از جنس نشاستهٔ سیب‌زمینی ژلاتینه‌شده قرار گرفتند. این لایهٔ فیلم‌مانند می‌تواند ناشی از واکنش بین آمیلوز (به‌دلیل خروج آمیلوز از گرانول‌های نشاسته پس از پخت) و پروتئین باشد که از چروکیدگی آنها در طی نگهداری که از علائم سفتی کیک می‌باشد، جلوگیری می‌کند و درنتیجه بافت کیک نرم‌تر باقی می‌ماند. همچنین حضور لایهٔ فوق می‌تواند به استحکام ساختار حاصل از کمپلکس نشاسته و پروتئین که در طی پختشان ایجادشده

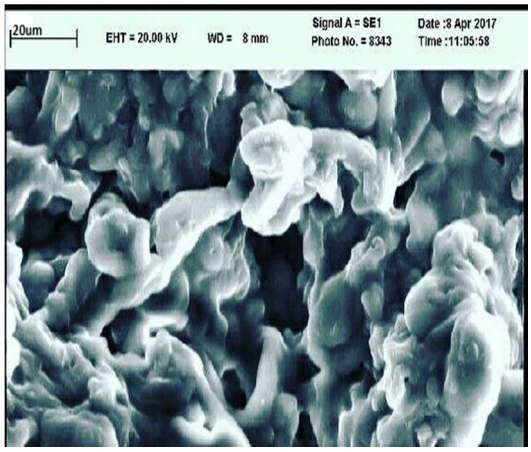
است کمک کند و به‌نوعی با درگیرنمودن آنها ازطریق رطوبت بیشتر موجود در بافت و درنتیجه تعدد بیشتر باندهای هیدروژنی در شبکهٔ سه‌بُعدی موجود در کیک، وقوع پدیدهٔ بیاتی و خروج اجزاء سازندهٔ ترکیبات ذکرشده را در دو نمونه به‌تأخیراندازد، نمونهٔ حاوی آرد سیب‌زمینی (P<۰/۰۵) ازنظر بزرگ‌تربودن اندازهٔ ذرات و کمتربودن تعداد حفره‌ها نسبت به دو نمونهٔ شاهد و نشاستهٔ سیب‌زمینی دارای اختلاف معنی‌داری بوده است (مجذوبی و همکاران، ۱۳۹۱).



(الف)



(ب)



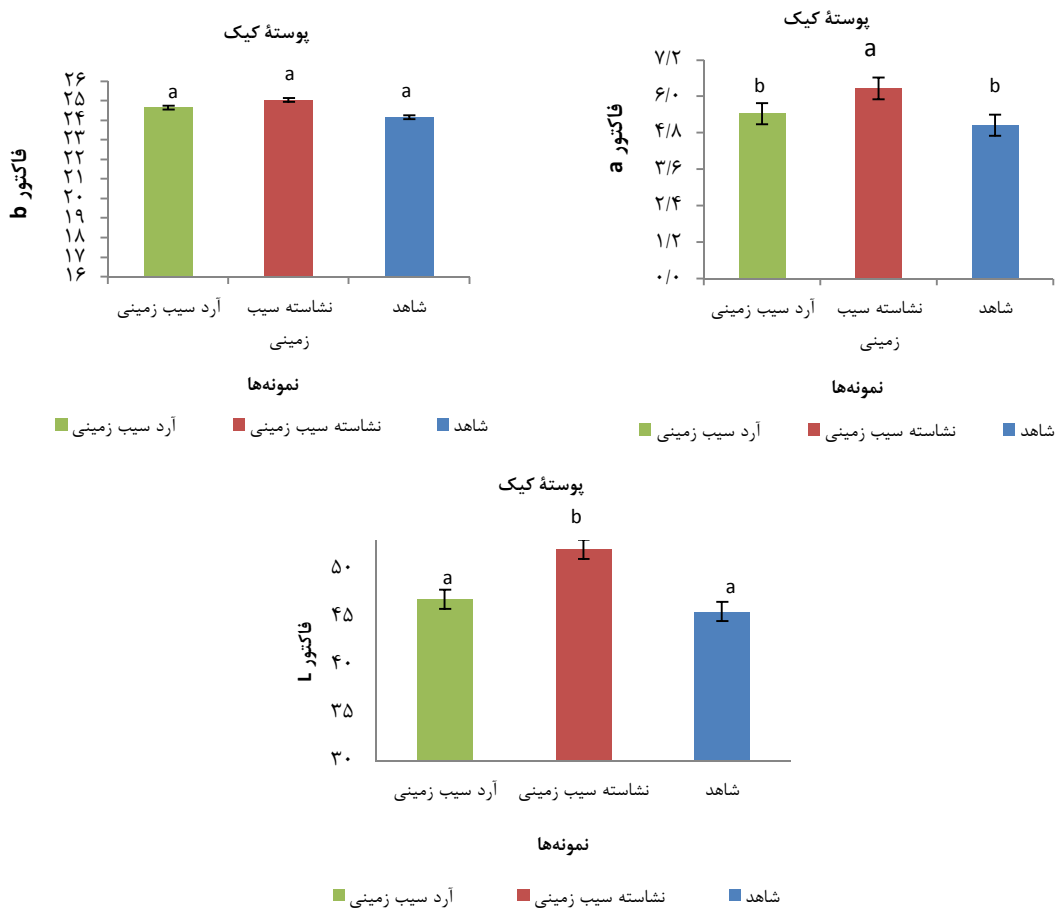
(ج)

شکل ۵ – الف) مشاهده‌های ریزساختار تیمار آرد سیب‌زمینی، ب) مشاهده‌های ریزساختار تیمار نشاستهٔ سیب‌زمینی و ج) مشاهده‌های ریزساختار تیمار شاهد

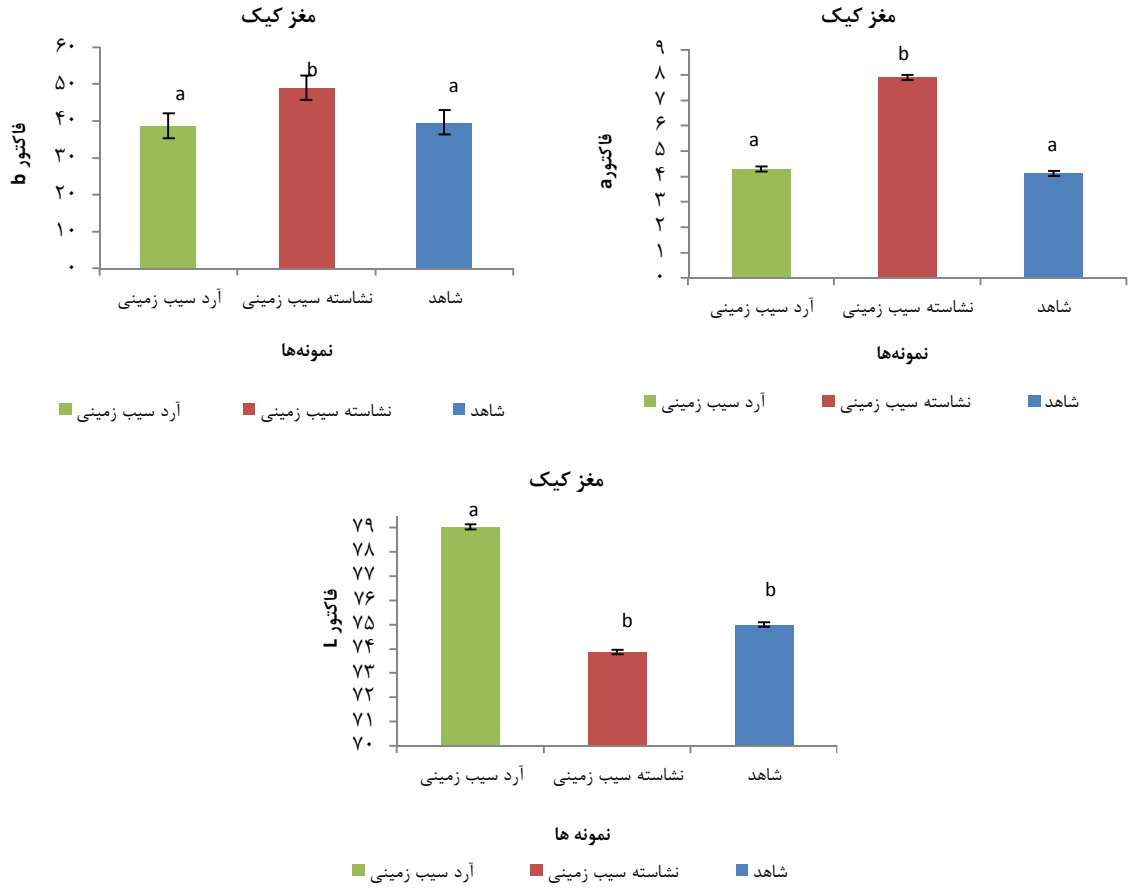
ارزیابی رنگ

نتایج به‌دست‌آمده از پردازش تصویر رنگ پوسته و مغز کیک حاوی نشاسته و آرد سیب‌زمینی و نمونهٔ شاهد در شکل (۶) و (۷) نشان می‌دهد که افزودن نشاستهٔ سیب‌زمینی سبب افزایش میزان مؤلفه‌های L^* (روشنایی) و b^* (زردی) شده ولی تأثیری در مؤلفه a^* (قرمزی) پوستهٔ کیک نداشت. بیشترین میزان مؤلفهٔ L^* در پوستهٔ کیک در بین ۳ نمونهٔ شاهد، آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی مربوط به نمونه‌های حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی و بیشترین میزان مؤلفهٔ b^* نیز مربوط به نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی بود که دارای اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های شاهد و آرد سیب‌زمینی بود (P<۰/۰۵). اما درمورد رنگ مغز کیک، نمونه‌های حاوی آرد سیب‌زمینی بیشترین میزان مؤلفهٔ L^* را نشان داد و کیک‌های حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی بیشترین میزان مؤلفه‌های a^* و b^* را نشان دادند که اختلاف معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). باتوجه‌به پژوهش‌های انجام‌شده، رنگ پوسته تحت‌تأثیر واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن مایلارد قرار می‌گیرد. درمورد رنگ بافت، می‌توان گفت، در مراحل

پخت کیک در آون واکنش‌های مایلارد به‌میزان زیادی صورت می‌گیرد. ترکیبات تشکیل‌شده از این واکنش‌ها مسئول تغییر رنگ و همچنین مؤثر بر طعم و خصوصیات بافتی می‌باشند (Pino & Gonzalez-Sanjose, 2003). در طول فرایند پخت کاهش رطوبت از درون به بیرون کیک‌ها انجام می‌شود (Thorvaldsson & Skjoldebrand, 1998). همان‌طورکه دما افزایش می‌یابد محتوای رطوبت در لایهٔ بیرونی سریع‌تر کاهش یافته و واکنش‌های مایلارد با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد این موارد به رنگ تیره‌تر پوسته منجر می‌شود. در قسمت درونی‌تر کیک‌ها، اُفت آب کمتر و فعالیت آبی بالاتری وجود دارد و دمای مغز کیک‌ها به بالاتر از ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد نمی‌رسد. ازاین‌رو، واکنش مایلارد به کندی پیشرفت کرده و بنابراین مغز کیک تغییرات رنگی بسیار کمی را به خود می‌بینند تفاوت در فرمولاسیون کیک‌ها می‌تواند رنگ آنها را تحت‌تأثیر قرار دهد (Gonzalez-Mateo *et al.*, 2009). Gonzalez-Mateo و همکاران (۲۰۰۹) با ارزیابی نان ساخته‌شده از ترکیب آرد گندم و آرد سیب‌زمینی به نتایج مشابهی دست یافتند. درنهایت باید بیان نمود بیشترین میزان مؤلفه‌های L^* و a^* پوستهٔ کیک مربوط به نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی است که دارای اختلاف معنی‌داری بود ($P<۰/۰۵$). همچنین بیشترین میزان مؤلفهٔ b^* مربوط به نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی بود که دارای اختلاف معنی‌داری نبود و بیشترین میزان مؤلفهٔ L^* مغز کیک مربوط به نمونهٔ حاوی آرد سیب‌زمینی است که دارای اختلاف معنی‌داری بود ($P<۰/۰۵$) و بیشترین میزان مؤلفه‌های a^* و b^* مغز کیک مربوط به نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی است که این اختلاف معنی‌دار بود.



شکل ۶ - مؤلفه‌های رنگی پوستهٔ کیک سه تیمار مختلف (شاهد، آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی)



شکل ۷ – مؤلفه‌های رنگی مغز کیک سه تیمار مختلف (شاهد، آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی)

تخلخل

ازنظر میزان تخلخل کیک یک مادهٔ جامد نرمی است که در مقیاس ماکروسکوپیک از دو فاز سیال (هوا) و جامد (دیواره) تشکیل شده است. ویژگی‌های ساختاری مغز کیک روی ویژگی‌های مکانیکی، احساس دهانی و درنهایت پذیرش مصرف‌کنندگان تأثیر دارد. باتوجه‌به شکل (۸-الف و ۸-ب) تخلخل با استفاده از آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی بهبود بافت. همچنین با جایگزینی آرد و نشاستهٔ سیب‌زمینی فاکتورهای قطر حداکثر، قطر حداقل، مساحت متوسط و غیریکنواختی کاهش یافت و نتایج حاصل دارای اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) نسبت به نمونهٔ شاهد بودند. دراین‌زمینه نشاستهٔ سیب‌زمینی اثر قوی‌تری روی تخلخل کیک داشت ولی مقدار آن دارای اختلاف معنی‌داری با نمونهٔ آرد سیب‌زمینی نبود. دو نمونهٔ حاوی آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی نسبت به نمونهٔ شاهد دارای نتایج به نسبت مشابهی بودند با این تفاوت که نمونه‌های حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی دارای قطر حداکثر و غیریکنواختی کمتری بودند. آگاهی از ساختار و خواص مغز کیک جهت ارزیابی کیفیت آن بسیار حائز اهمیت است. زمانی که کیک برش داده می‌شود، بافت مغز کیک (ساختار سلولی) ظاهر می‌شود که نشان‌دهندهٔ یک سطح صاف با منافذ زیاد و اندازه‌های متفاوت است و دیوارهٔ منافذ اشکال پیچیده‌ای را به‌وجود می‌آورند. تخلخل و یکنواختی و اندازهٔ سلول‌ها از عوامل مهم در تعیین کیفیت بافت مغز کیک هستند. با استفاده از آنالیز توسط اسکنر مسطح می‌توان اطلاعاتی درزمینهٔ ریزساختار کیک به‌دست‌آورد. این روش روشی سریع، ارزان، غیروابسته به شرایط نور خارجی و با دقت بالا می‌باشد (Esteller *et al.*, 2006). باتوجه‌به نتایج حاصل از آنالیز تصاویر مشخص شد که رقم شاهد بیشترین مساحت کل را دارد و با بیشینهٔ قطر ۳/۵۶ میلی‌متر دارای بزرگ‌ترین منافذ و بافتی با ساختار گسترده‌تر می‌باشد (جدول ۱). این امر احتمالاً به‌دلیل تفاوت در خواص

ژلاتیناسیون آردهای مختلف است که تحت‌تأثیر محتوای آمیلوز قرار می‌گیرند (لشکری، ۱۳۹۱). افزایش تعداد سلول‌های کوچک در واحد سطح کیک نشان‌دهندهٔ وجود دیوارهٔ سلولی نازک، بافتی همگن و نرم می‌باشد. ظرفیت بالای نگهداری آب سیب‌زمینی و افزایش ویسکوزیته و الاستیسیتهٔ خمیر در حضور مقادیر بالاتر سیب‌زمینی با کمک به حفظ حباب‌های هوا سبب ایجاد این بافت می‌گردد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۲). اکبری و همکاران (۱۳۹۲) با تحقیق روی بهبود ویژگی‌های کیفی نان بربری با استفاده از پورهٔ سیب‌زمینی به نتایج مشابهی دست یافتند.

(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۸- الف) نمونهٔ نشاستهٔ سیب‌زمینی، ب) نمونهٔ آرد سیب‌زمینی و ج) نمونهٔ شاهد

جدول۱- اثر افزودن آرد و نشاسته سیب‌زمینی بر پارامترهای مرتبط با تخلخل در کیک اسفنجی

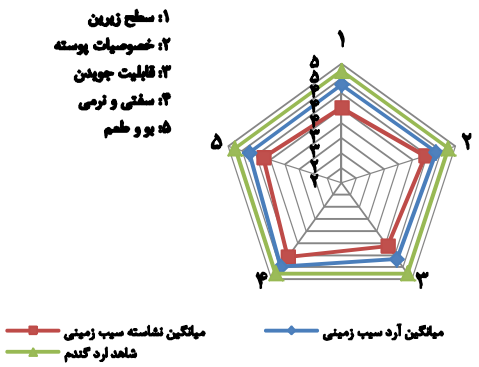
نمونه	مساحت متوسط هر سوراخ (میلی‌مترمربع)	قطر حداقل (میلی‌متر)	قطر حداکثر (میلی‌متر)	غیریکنواختی
شاهد	۳/۴۷۴[a]	۱/۸۶۱[a]	۳/۵۶۶[a]	۱/۷۰۵[a]
آرد سیب‌زمینی	۲/۷۳[b]	۰/۶۵[d]	۱/۷۶[e]	۱/۱۱۰[g]
نشاستهٔ سیب‌زمینی	۱/۴۰[c]	۰/۶۵[d]	۱/۶۵[f]	۱/۰۰۸[g]

آزمون حسی

با بررسی ویژگی‌های حسی توسط ارزیاب‌ها روی نمونه‌های کیک اسفنجی، نتایج زیر به‌دست‌آمد:

سطح زیرین

براساس نتایج به‌دست‌آمده از تیمارهای مختلف همان‌طورکه در شکل (۹) مشاهده می‌شود، بین دو نمونهٔ شاهد و آرد سیب‌زمینی هیچ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی بین نمونهٔ نشاستهٔ سیب‌زمینی و دو نمونهٔ دیگر اختلاف معنی‌دار بود (P<۰/۰۵) که کمترین امتیاز مربوط به نمونهٔ نشاستهٔ سیب‌زمینی با امتیاز ۴/۰۱ می‌باشد.



شکل ۹ - نتایج پذیرش‌کلی آزمون حسی نمونه‌های کیک

خصوصیات پوسته

براساس نتایج به‌دست‌آمده از تیمارهای مختلف همان‌طورکه در شکل (۹) مشاهده می‌شود، هیچ اختلاف معنی‌داری بین سه نمونهٔ مختلف وجود نداشت ولی نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی ازسوی داوران با میانگین امتیاز ۴/۳۶ کمترین امتیاز را به‌دست‌آورد.

قابلیت جویدن

براساس نتایج به‌دست‌آمده از تیمارهای مختلف همان‌طورکه در شکل (۹) مشاهده می‌شود، قابلیت جویدن نمونهٔ شاهد از نمونه‌های آرد سیب‌زمینی و نشاستهٔ سیب‌زمینی بالاترین امتیاز را کسب نمود ولی بین دو تیمار مختلف شاهد و آرد سیب‌زمینی هیچ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی نمونه‌های حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی کمترین امتیاز را از لحاظ قابلیت جویدن بین تیمارهای مختلف کسب نمود و با امتیاز ۴/۰۹ اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شاهد و آرد سیب‌زمینی داشتند.

سفتی و نرمی

براساس نتایج به‌دست‌آمده از تیمارهای مختلف همان‌طورکه در شکل (۹) مشاهده می‌شود، بین سه تیمار مختلف هیچ اختلاف معنی‌داری از لحاظ سفتی و نرمی وجود ندارد ($P>۰/۰۵$) ولی نمونهٔ شاهد و حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی امتیازهای نزدیک‌تری نسبت به‌هم دارند و نمونهٔ آرد سیب‌زمینی با میانگین امتیاز ۴/۴۵ از بافت سفت‌تری نسبت به نمونهٔ نشاستهٔ سیب‌زمینی و نمونهٔ شاهد برخوردار بود. همان‌طورکه در ارزیابی دستگاهی بافت کیک اشاره شد نرمی بافت درارتباطبا قابلیت جذب و نگهداری آب می‌باشد (Ronda *et al.*, 2005) نمونه‌های حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی قابلیت نگهداری آب بیشتری درون بافت خود دارند درنتیجه از بافت نرم‌تری برخوردار هستند.

بو و طعم

براساس نتایج نشان‌داده‌شده در شکل (۹)، اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) در میانگین امتیاز بین نمونه‌های شاهد و آرد سیب‌زمینی با نمونه‌های نشاستهٔ سیب‌زمینی وجود دارد. بیشترین میانگین امتیاز مربوط به نمونهٔ شاهد با امتیاز ۵ و کمترین میانگین امتیاز مربوط به نمونه‌های کیک حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی با میانگین ۴/۲ بود.

پذیرش کلی

نتایج حاصل از آنالیز پذیرش کلی به‌صورت نموداری در شکل (۹) مشاهده می‌شود بیانگر این موضوع می‌باشد که باتوجه‌به پذیرش کلی ازسوی داوران بیشترین امتیاز متعلق به نمونهٔ شاهد بود که دلیل آن را می‌توان به مقبولیت کامل این نوع کیک و گستردگی آن در بین افراد درحال‌حاضر بیان نمود ولی نمونه‌های کیک حاوی آرد سیب‌زمینی نیز از مقبولیت بالایی بدون هیچ اختلاف معنی‌داری با نمونهٔ شاهد برخوردار بودند و نمونه‌های حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی اختلاف معنی‌داری نسبت به نمونهٔ شاهد داشتند ($P<۰/۰۵$) و با میانگین امتیاز ۴/۲۵ کمترین میانگین امتیاز را بین سه تیمار مختلف کسب کردند. موحد و همکاران (۱۳۹۲) با ارزیابی کاربرد صمغ زانتان و آرد سیب‌زمینی بر خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان تُست به نتایج مشابهی دست یافتند.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، جایگزینی آرد گندم با آرد سیب‌زمینی در آزمون‌های شاخص حجم و تقارن و نیز مشاهده‌های ریزساختاری سبب بهبود وضعیت کیک گردید و در آزمون‌های رنگ کیک حاوی آرد سیب‌زمینی از مغز روشن‌تری برخوردار بود.

مؤلفه‌های L^* و a^* پوستهٔ کیک با افزودن نشاستهٔ سیب‌زمینی و مؤلفه‌های L^* و a^* مغز کیک با افزودن آرد سیب‌زمینی روند افزایشی نشان دادند. ازنظر میزان حفظ رطوبت نمونهٔ حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی رطوبت بیشتری را در فواصل زمانی ۱ ، ۷ و ۱۴ روز درون خود حفظ کرد و دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به دو تیمار دیگر بود، ازاین‌رو، بیاتی کیک حاوی نشاستهٔ سیب‌زمینی به‌تعویق افتاد. درنهایت می‌توان این‌گونه بیان‌کرد جایگزینی آرد گندم به میزان ۱۰ درصد با آرد سیب‌زمینی در فرمولاسیون کیک اسفنجی اثرات مطلوبی را ازنظر حجم کیک و پذیرش‌کلی داشت.

منابع

۱- اکبری، ن.، محمدزاده میلانی، ج. و علاالدینی، ب. ۱۳۹۲. تأثیر افزودن پورهٔ سیب‌زمینی بر کاهش بیاتی نان بربری. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۴(۲):۳۵۰-۳۳۹.

۲- پیغمبردوست، س.ه. ۱۳۸۸. تکنولوژی فرآورده‌های غلات. دانشگاه علوم پزشکی تبریز، جلد دوم، صفحات ۲۱۷-۲۱۹.

۳- لشکری، ف. ۱۳۹۱. بررسی ارقام برنج ایرانی در تولید نان فاقد گلوتن. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۴- مجذوبی، م.، بوستانی، س. و فرحناکی، ع. ۱۳۹۱. بهبود کیفیت کیک جعبه‌ای با استفاده از نشاسته فوری گندم. پژوهش‌های صنایع غذایی (دانش کشاورزی)، ۴(۲۲):۴۲۱-۴۲۹.

۵- محمدزاده میلانی، ج. ۱۳۹۴. علوم و تکنولوژی فرآورده‌های غلات. انتشارات آوای مسیح، صفحات ۲۴۳-۲۶۰.

۶- موحد، س.، رنجبر، س. و احمدی‌چنارین، ح. ۱۳۹۲. ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی، بیاتی، و ارگانولپتیکی کیک‌های بدون گلوتن حاوی صمغ‌های زانتان و کربوکسی‌متیل سلولز. مهندسی بیوسیستم ایران، ۲(۴۴):۱۷۳-۱۷۸.

۷- یقبانی، م. و کوچکی، الف. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر استفاده از آرد ذرت و سیب‌زمینی بر خصوصیات کیفی نان بربری. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۷-۹ آبان ماه، شیراز.

8- AACC. 2001. Approved methods of the American association of cereal chemists (method 74- 09). St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

9- Curti, E., Carini, E., Tribuzio, G., & Vittadini, E. 2014. Bread staling: effect of gluten on physico-chemical properties and molecular mobility. LWT-Food Science and Technology, 59(1):418-425.

10- Dako, E., Retta, N., & Desse, G. 2016. Effect of Blending on Selected Sweet Potato Flour with Wheat Flour on Nutritional, Anti-Nutritional and Sensory Qualities of Bread. Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary, 16(4):31-42.

11- Ebeler, S.E., & Walker, C.E. 1984. Effects of various sucrose fatty acid ester emulsifiers on high-ratio white layer cakes. Journal of Food Science, 49(2):380-383.

12- Esteller, M.S., Zancanaro, O., Palmeira, C.N.S., & Da Silva Lannes, S.C. 2006. The effect of kefir addition on microstructure parameters and physical properties of porous white bread. European Food Research and Technology, 222(1-2):26-31.

13- Gerrard. J.A., Fayle, S.E., Wilson, A.J., Newberry, M.P., 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

14- Gonzalez-Mateo, S., Gonzalez-SanJose, M.L., & Muniz, P. 2009. Presence of Maillard products in Spanish muffins and evaluation of colour and antioxidant potential. Food and Chemical Toxicology, 47(11):2798-2805.

15- Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P., & Autio, K., 2006. Effects of sourdough and enzymes on staling of high–fiber wheat bread. LWT-Food Science and Technology, 39(5):479-491

16- Lee, C.C., Wang, H.F., & Lin, S.D., 2008. Effect of isomaltooligosaccharide syrup on quality characteristics of sponge cakes. Cereal Chemistry 85(4):515-521.

17- Mastakidou, A., Blekas, G., & Paraskevopoulou, A. 2010. Aroma and physical characteristics of cakes prepare by replacing margarine with extra virgin olive oil. LWT-Food Science and Technology, 43(6):949-957.

18- Pino, R., & González-Sanjosé, M.L. 2003. Effects of brown pigments on the texture properties of bakery products. P. 120-124. In E.D. G. Vegarud, & F.J. Morales (ed.). Proceedings of the 3th workshops at Melanoidins in Food and Health, Oslo, Norway.

19- Pyler, E.J. 1973. Baking Science and Technology. Siebel Publishing Company, Chicago, IL.

20- Ronda, F., Gomez, M., Blanco, C.A., & Caballero, P.A. 2005. Effect of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. Food Chemistry, 90(4):549-555.

21- Shittu, T.A., Dixon, A., Awonorin, S.O., Sanni, L.O., & Maziya-Dixon, B. 2008. Bread from composite cassava-wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality, Food Research International, 41(6):569-578.

22- Sikora, M., Adamczyk, G., Krystyjan, M., Dobosz, A., Tomasik, P., Berski, W., Lukasiewicz, M., & Izak, P. 2015. Thixotropic properties of normal potato starch depending on the degree of the granules pasting. Carbohydrate Polymers, 121:254-264 .

23- Singh, N., Kaur, L., Ezekiel, R., & Singh Guraya, H. 2005. Microstructural, cooking and textural characteristics of potato (Solanum tuberosum L.) tubers in relation to physicochemical and functional properties of their flours. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(8):1275-1284.

24- Thorvaldsson, K., & Skjoldebrand, C. 1998. Water diffusion in bread during baking. LWT-Food Science and Technology, 31(7-8):658-663.

25- Turabi, E., Sumnu, G., & Sahin, S. 2008. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. Food Hydrocolloids, 22(2):305-312.

26- Vittadini, E., & Vodovotz, Y. 2003. Changes in the physicochemical properties of wheat-and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. Journal of Food Science, 68(6):2022-2027

27- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., & Delcour, J.A. 2013. Ingredient functionality in batter type cake making. Trends in Food Science & Technology, 30(1):6-15.

28- Willard, M.J., & Hix, V.M. 1987. Potato flour. P. 665-681. In W.F. Talburt, & O. Smith, (eds.) potato processing (4th edition), Van Nostrand Reinhold, New York.

29- Winkelhausen, E., Jovanovic-Malinovska, R., Velickova, E., & Kuzmanova, S. 2007. Sensory and microbiological quality of a baked product containing xylitol as an alternative sweetener. International Journal of Food Properties, 10(3):639-649.

Effect of Adding Potato Starch and Flour to the Qualitative Characteristics and Stailing of Sponge Cake

Seyyed Danial Mojarrabi[1*], Jafar Mohammadzadeh Milani[2]

1- Master's Degree, Food Technology, Khazar University, Mahmudabad, Iran
* Corresponding author (danyalmojarabi@gmail.com)
2- Associate Professor of Food Science and Technology, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Abstract

Different types of cakes are the most consumed bakery products in the world. Concerning high water holding capacity of potato starch, this source was used to replace 10% of wheat flour by potato flour and starch in sponge cake formulation to clarify the role of non- starch compounds. Samples were evaluated in terms of volume index, symmetry and uniformity of cake, porosity, microstructural observations, crumb moisture and cake crust, sensory characteristics and color factors (L^*, a^*, b^*). The results showed that the samples containing potato flour had extra volume than two other samples and adding potato flour and starch led to improved porosity of cake, and also the sample comprising potato flour and control had more acceptance according to sensory properties. After fourteen days, potato starch retained a higher moisture content than two other treatments, which resulted in thedelayed staling of the cake containing potato starch. The results of evaluation of color components (L^*, a^*, b^*) showed that the addition of 10% of potato flour to wheat flour had the highest amount of L^* in the cake, but in the crust cake, the highest L^* and b^* values were obtained for the sample containing potato starch among the three different treatments forms. Finally, according to the results, it can be concluded that replacement of 10% of wheat flour with potato flour improves the qualities of cake properties such as significant increase in volume dough.

Keywords: Color Factors, Microstructure Observations, Moisture, Physico-Chemical Properties

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۳۵۲-۳۳۷

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

بررسی خصوصیات کیفی و زنده‌مانی باکتری‌های *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *باسیلوس کواگولانس* در نان پروبیوتیک

مرضیه حسینی‌نژاد [۱*]، عباس عابدفر [۲]

۱- دانشیار، گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (m.hosseininezhad@rifst.ac.ir)
۲- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵

واژه‌های کلیدی
باسیلوس کواگولانس
ریزپوشانی
زنده‌مانی میکروبی
لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس
نان پروبیوتیک

چکیده

فرایند ریزپوشانی در تولید غذاهای فراسودمند به‌عنوان یکی از شیوه‌های مؤثر و نوین به‌منظور قابلیت تحمل و بقای پروبیوتیک‌ها در طی فرایند تولید و در شرایط معده و روده ثابت شده است. هدف از انجام این پژوهش بررسی خصوصیات کیفی و پایداری جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک تولیدی با نسبت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ درصد سوسپانسیون میکروبی ریزپوشانی‌شده به همراه ۵ درصد نشاستهٔ خوراکی در طول ۴۸ ساعت ماندگاری بود. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که با گذشت زمان در هر دو نمونهٔ نان پروبیوتیک حاوی سوسپانسیون میکروبی متفاوت، مدت ماندگاری سبب کاهش جمعیت میکروبی شده است به‌طوری‌که کاهش جمعیت در نمونهٔ ۱ درصد سوسپانسیون به‌مراتب شدیدتر بود. همچنین، میزان حجم مخصوص و تخلخل نان به‌ترتیب روند کاهش و افزایش در دو نمونهٔ باکتری در مقایسه با نمونهٔ شاهد طی ۴۸ ساعت مدت ماندگاری داشت ($P\leq$۰/۰۵). درحالی‌که سفتی بافت نان پروبیوتیک در طول مدت ماندگاری ۲۴ ساعت برای هر سوسپانسیون میکروبی افزایش یافت که در مقایسه با نمونهٔ شاهد به‌مراتب کمتر بود ($P\leq$۰/۰۵). علاوه‌بر این آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین آزمون رنگ‌سنجی پوستهٔ نان پروبیوتیک تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان شاخص‌های رنگ (L^*، a^* و b^*) نان در طی ۴۸ ساعت نگهداری داشتند.

مقدمه

امروزه با گسترش دانش در حوزهٔ مواد غذایی، نقش تغذیه در سلامتی دستگاه گوارش به‌عنوان فاکتور کلیدی در تولید غذاهای عملگرا موردتوجه ویژه قرار گرفته است. تعداد زیادی از باکتری‌های اسید لاکتیک خصوصاً *لاکتوباسیلوس‌ها* [۱] دارای ویژگی‌های پروبیوتیکی بوده و به‌عنوان کشت آغازگر در محصولات تخمیری مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (Saarela *et al.*, 2000). اصطلاحاً پروبیوتیک به کشت زنده و فعالی اطلاق می‌شود که ضمن بقاء و تجمع در دستگاه گوارش، اثرات فیزیولوژیکی مثبتی نیز بر مصرف‌کننده داشته باشد (Doherty *et al.*, 2010). پروبیوتیک‌ها از ویژگی‌های متعددی نظیر مقاومت به اسید معده و املاح صفراوی، همچنین ممانعت از ایجاد اتصال باکتری‌های بیماری‌زا با مخاط روده برخوردارند. این میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان جایگزین آنتی‌بیوتیک‌ها و نگهدارنده‌های سنتزی در پیشگیری و درمان عوارض بسیاری از عوامل عفونی و بیماری‌زا و متعادل‌نمودن میکروفلور

[1] *Lactobacillus*

دستگاه گوارش نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Saarela *et al*., 2000). باتوجه‌به سرانهٔ مصرف نان و میزان ضایعات آن در کشور، همواره تولید نان عاری از افزودنی‌های شیمیایی و دارای کیفیت و زمان ماندگاری مطلوب یکی از دغدغه‌های دست‌اندرکاران صنایع نانوایی بوده است. علاوه‌بر این در طی سال‌های اخیر، بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای، سلامتی نان و غنی‌سازی آن با ترکیبات مختلف با هدف ارتقاء ارزش غذایی و کیفیت محصول نیز موردتوجه محققین فراوانی قرار گرفته است (حسینی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). سال‌های زیادی است که بشر به علت وجود مواد مغذی مؤثر بر سلامت، به استفاده از محصولات تخمیری تمایل فراوان دارد. اثرات سلامت‌بخش محصولات تخمیری فراسودمند به‌دلیل وجود برخی از میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک در بدن میزبان ثابت شده است. باتوجه‌به اولویت صنعت امروز، ایجاد رویکردی نوآورانه در رفع نیازهای مصرف‌کننده و بهبود گسترش صنعت غذا به‌ویژه صنایع پخت، با مصرف پروبیوتیک‌ها به‌عنوان افزودنی مفید و مجاز روزبه‌روز در حال پیشرفت است. بااین‌حال، تولید نان فراسودمند در حضور میکروارگانیسم‌های زنده به‌دلیل درجه‌حرارت بالا در طول پخت کمتر موردتوجه محققین قرار گرفته است (Altamirano-Fortoul *et al*., 2012). ازاین‌رو ریزپوشانی پروبیوتیک‌ها با خشک‌کن پاششی فرایند تجاری ساده، پیوسته و کم‌هزینه‌ای است که به‌طور گسترده‌ای درمورد مواد حساس به حرارت همچون اسانس‌ها، طعم‌ها و مواد دارویی به‌کار می‌رود و ضمن بقاء و تجمع در دستگاه گوارش، اثرات فیزیولوژیکی مثبتی بر مصرف‌کننده داشته و به‌عنوان یکی از روش‌های کاربردی و اقتصادی برای قابلیت تحمل نمونه‌های غذایی پوشش‌دهی‌شده در شرایط شبیه‌سازی معده و روده ثابت شده است (Zuidam & Nedovic, 2010). مطالعه‌های متعددی تاکنون درخصوص ریزپوشانی باکتری‌های پروبیوتیک و استفاده از آنها در فراورده‌های غلاتی مانند نان صورت گرفته است. Zhang و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه‌ای روی زنده‌مانی *بیفیدوباکتریوم لاکتیس*[1] Bb12 در طول پخت نان و بررسی خصوصیات کیفی آن انجام دادند و نتایج نشان داد که زنده‌مانی این نوع باکتری در طول پخت کاهش یافت. علاوه‌بر این حجم مخصوص و محتوای رطوبتی نیز طی فرایند پخت افزایش پیدا کرد. تولید نان سین‌بیوتیک به‌وسیلهٔ میکروانکپسولاسیون *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*[2] LA-5 و *لاکتوباسیلوس کازئی*[3] ۴۳۱ توسط Seyedain-Ardabili و همکاران (۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که *لاکتوباسیلوس کازئی* ۴۳۱ در دماهای بالا مقاومت بیشتری نسبت به *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* LA-5 از خود نشان داد و این مقاومت در هنگام استفاده از کیتوزان نسبت به آلژینات کلسیم و نشاستهٔ مقاوم ذرت بیشتر بود و درنهایت محققین بیان کردند که میکروانکپسولاسیون مورد استفاده در تولید نان سین‌بیوتیک می‌تواند مقاومت حرارتی باکتری پروبیوتیک را افزایش دهد. Altamirano-Fortoul و همکاران (۲۰۱۲) اثر پوشش بر پایهٔ نشاسته روی درصد زنده‌ماندن *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در نان و اثر آن بر خواص مکانیکی پوسته را بررسی کردند، نتایج پژوهش نشان داد که در تمام تیمارها زنده‌مانی پس از پخت مشاهده شد. فعالیت آبی پوسته نیز افزایش و نیروی شکست آن کاهش یافت. ریزپوشانی باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*[4] A7 با استفاده از آلژینات سدیم و نشاستهٔ ذرت به روش امولسیون و استفاده از آن در تولید نان پروبیوتیک انجام گرفت. نتایج نشان داد که ریزپوشانی تأثیر معنی‌داری در زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها طی پخت نان داشت و تعداد باکتری‌های زنده را نسبت به نمونهٔ شاهد، بین ۲-۱ سیکل لگاریتمی افزایش داد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر سیاست‌گذاری‌های مسئولان نیز در جهت تولید نان‌هایی با کیفیت بالا و نیز تولید نان‌هایی باارزش تغذیه‌ای فراتر از یک نان استاندارد بوده است تا باتوجه‌به مصرف بالای این محصول در کشور ما، سطح سلامت جامعه با تولید نان‌هایی باارزش تغذیه‌ای بالاتر افزایش یابد.

[1] *Bifidobacterium Lactis*
[2] *Lactobacillus Acidophilus*
[3] *Lactobacillus Casei*
[4] *Lactobacillus Plantarum*

در اجرای این هدف، بررسی خصوصیات کیفی و مدت ماندگاری نان عملگرا تولیدی با سوسپانسیون باکتری‌های پروبیوتیک (*لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *باسیلوس کوآگولانس*) ریزپوشانی‌شده به همراه نشاستهٔ خوراکی در طول ۴۸ ساعت ماندگاری و توزیع آن در سطح جامعه یکی از راهکارهای مناسب و عملی خواهد بود.

مواد و روش‌ها

مواد خام

آرد گندم مورد استفاده در این پژوهش از واحد نانوایی فنی و حرفه‌ای شمارهٔ ۲-مشهد، براساس استاندارد شمارهٔ ۵۸۰۹ (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۱) تهیه شد. خصوصیات آرد مصرفی که براساس روش‌های مدون (AACC, 2010) تعیین گردیده در جدول (۱) ارائه شده است. مخمر خشک فعال *ساکارومایسس سرویزیه*[6] از شرکت ایران ملاس فریمان تهیه گردید. محیط‌های کشت مصرفی شامل ام آر اس براث[7]، ام آر اس آگار[8]، نوترینت براث[9] و نوترینت آگار[10] نیز از شرکت‌های شارلو اسپانیا و سیگما آلدریچ ایتالیا تأمین شدند. مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش نیز از شرکت مرک آلمان تهیه گردیدند.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی آرد مورد استفاده در این پژوهش

درصد استخراج	درصد رطوبت	درصد پروتئین	درصد گلوتن مرطوب	اسیدیته	درصد خاکستر
۶۷/۵ - ۶۹	۱۲/۹۰	۱۰/۹۶	۲۴-۲۷	۲/۰۷	۰/۷۵

آماده‌سازی سویه‌های میکروبی پروبیوتیک و ریزپوشانی آن

باکتری‌های پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*[1] (PTCC 1643) و *باسیلوس کوآگولانس*[2] (T4) (IBRC-M 10791) به‌ترتیب به‌صورت منجمدشده[3] از مرکز کلکسیون میکروارگانیسم‌های صنعتی ایران[4] و مرکز ملی ذخایر ژنتیک و زیستی ایران[5] خریداری و در ۳۰ میلی‌لیتر محیط کشت MRS Broth در دمای ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۴-۴۸ ساعت تا ایجاد 10^8 واحد تشکیل‌دهنده پرگنه در گرم (در مقایسه با لولهٔ ۰/۵ مک فارلند) کشت داده شدند. سپس سلول‌های تازهٔ میکروبی با سانتریفیوژ، زیست‌تودهٔ تولیدی در ۵۰۰۰ g (هرمل، Z36 HK، آلمان)، ۴ درجهٔ سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ دقیقه از محیط کشت جدا گردید و در دو مرحله با محلول استریل ۰/۱ درصد آب پپتونه شسته شد (Mokarram *et al.*, 2009). سپس جهت ریزپوشانی سویه‌های فعال در شرایط کاملاً بهداشتی با استفاده از روش Ananta و همکاران (۲۰۰۵) و همچنین Altamirano-Fortoul و همکاران (۲۰۱۲) با کمی تغییرات انجام گردید. براین‌اساس، ترکیبات اصلی تشکیل‌دهندهٔ دیوارهٔ ریزپوشانی شامل (کنسانترهٔ پروتئین آب‌پنیر، کربوکسی‌متیل سلولز، پکتین، اینولین و صمغ فارسی) به‌همراه پالیدهٔ کشت فعال در انتهای فاز لگاریتمی و ابتدای فاز سکون (آیدوفاز) برای هرکدام از سویه‌های پروبیوتیک که با استاندارد ۵ مک فارلند تنظیم گردید. در ادامه غلظت نهایی از هر سوسپانسیون میکروبی (*لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *باسیلوس کواگولانس*) جهت ریزپوشانی باکتری‌های پروبیوتیک به کمک خشک‌کن پاششی حدود ۱۶/۴۵۵ (وزنی/وزنی) تهیه شد.

تهیهٔ نان پروبیوتیک

برای تهیهٔ نان پروبیوتیک، ابتدا ۲۲۰ میلی‌لیتر آب ولرم با دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد به داخل همزن برقی کاسه‌دار (Solingen، مدل GTM8016، ساخت آلمان) به همراه ۵/۴ گرم مخمر نانوایی (۱/۲ درصد) اضافه شد. در ادامه ترکیبات خشک شامل؛ ۴۵۰ گرم

[1] *Lactobacilluse Acidophilus*
[2] *Bacillus Coagulans*
[3] Lyophilization
[4] Persian Type Culture Collection
[5] Iranian Biological Resource Center
[6] *Saccharomyces Cerevisiae*
[7] MRS Broth
[8] MRS Agar
[9] Nutrient Broth
[10] Nutrient Agar

آرد گندم به مخلوط اضافه گردید. متعاقباً پس از ۳ دقیقه اختلاط، مقادیر ۱ درصد نمک و شکر (نسبت به وزن آرد)، به خمیر نان اضافه و تا ۱۲ دقیقه اختلاط صورت گرفت. بعد از آماده‌سازی خمیر سطح آن با پارچهٔ تمیزی پوشانده شد تا از خشک‌شدن سطحی جلوگیری گردد.

بعد از استراحت اولیهٔ خمیر نان (۴۵ دقیقه) عمل چانه‌گیری انجام شد (وزن هر چانه ۳۵۰ گرم). پس از این عمل تا آغاز پخت استراحت ثانویه (۱۵ دقیقه) به خمیر نان برای ایجاد حباب‌های هوای یکنواخت، در چانهٔ خمیر داده شد. پس از طی این زمان خمیرها توسط دست پهن و به شکل نان بربری درآمده و بلافاصله روی سینی فر از قبل آماده‌شده قرار گرفت. برای طبخ آن از دستگاه پخت سنّتی نان که دمایی حدود ۳۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تحت زمان ۱۵ دقیقه ایجاد نموده و پس از طلایی‌شدن سطح نان از داخل فر برداشته‌شده و روی صفحه‌های مشبک جهت سردشدن قرار گرفت (Majzoobi *et al*., 2013). درنهایت نان پخته‌شده در شرایط استریل در تماس با سوسپانسیون باکتری پروبیوتیک ریزپوشانی‌شده با حامل‌های کنسانترهٔ پروتئین آب‌پنیر (WPC)[1]، کربوکسی‌متیل سلولز (CMC)[2]، پکتین[3] و صمغ فارسی[4] و به‌همراه نشاستهٔ خوراکی ۵ درصد با نسبت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ درصد قرار داده شد.

ارزیابی جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک در طول مدت ماندگاری برای هر سویهٔ میکروبی

پس از تهیهٔ نان‌های سنّتی و خروج از فر پخت، سوسپانسیونی از باکتری پروبیوتیک انکپسوله‌شده مطابق با استاندارد ۵ مک فارلند و تعداد پایش اولیه $۲/۹\times۱۰^{۸}$ باکتری پروبیوتیک تهیه گردید. سوسپانسیون پروبیوتیک در مخلوط با محلول نشاستهٔ خوراکی (۵ درصد) با نسبت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ درصد به‌صورت رومال روی سطح نان به‌صورت رومال پوشش‌داده‌شده و در شرایط کاملاً بهداشتی نگهداری گردید. بقای میکروبی نان پروبیوتیک در حالت تازه‌خوری ۲ ساعت بعد از پخت و پس از ۲۴ و ۴۸ ساعت بررسی و مقایسه صورت گرفت (Altamirano-Fortoul *et al*., 2012).

بررسی خصوصیات بافت نان پروبیوتیک طی مدت ماندگاری

آزمون بیاتی نان با استفاده از تست فشردگی و به کمک دستگاه بافت‌سنج (مدل TA.XT Plus Stable Micro System، ساخت انگلستان)، انجام گردید. ابعاد نمونه‌های نان مسطح تولیدی ۱۵×۳۰×۳۰ میلی‌متر و همچنین وزن چانه‌های گرفته‌شده ۳۵۰ گرم بود. سپس به‌منظور انجام آزمون فشردگی ابتدا برش‌هایی از نان با سطح مقطع ۳ سانتی‌متر تهیه گردید. بدین‌منظور در آزمون فشردگی ابتدا یک پروب استوانه‌ای از جنس آلومینیوم با قطر ۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر روی دستگاه نصب گردید. پس از کالیبره‌کردن دستگاه، نمونهٔ مورد آزمایش در جایگاه مخصوص قرار گرفت و حداکثر نیروی لازم برای ۵۰ درصد تغییر شکل، میزان نیروی هدف ۰/۰۵ نیوتون و فشردن با سرعت ۳۰ میلی‌متر در دقیقه در زمان‌های ۲ و ۲۴ ساعت پس از پخت به‌عنوان معیاری از بیاتی محاسبه گردید (Jackman & Stanley, 1992; Shafiee *et al*., 2008).

خصوصیات حجم مخصوص و تخلخل نان پروبیوتیک طی مدت ماندگاری

حجم مخصوص نان‌های تولیدی در فواصل زمانی ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از پخت، به‌طور جداگانه و در شرایط معین (درون بسته‌های استریل پلی‌اتیلنی درب‌دار و دمای گرم‌خانه‌گذاری ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد (مدل Memmert، ساخت آلمان) به روش جایگزینی دانهٔ کُلزا براساس رابطه‌های (۱ تا ۳) تعیین و با نمونهٔ شاهد مقایسه گردید. نمونه‌های مورد استفاده دارای وزن یکسان بوده و از مرکز هندسی نان تهیه شدند.

رابطهٔ (۱)

$$W_{\text{کُلزا}} = W_{\text{کل}} - W_{\text{نان}} - W_{\text{ظرف}}$$

رابطهٔ (۲)

$$V_{\text{کُلزا}} = \frac{W_{\text{کُلزا}}}{\rho_{\text{کُلزا}}}$$

رابطهٔ (۳)

$$V_{\text{نان}} = W_{\text{ظرف}} - W_{\text{کُلزا}}$$

[1] Whey Protein Concentration (WPC)
[2] Carboxymethyl Cellulose (CMC)
[3] Pectin
[4] Persian Gum

برای ارزیابی میزان تخلخل مغز نان در فواصل زمانی ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از پخت، از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد (Haralick *et al*., 1973). به‌منظور اندازه‌گیری تخلخل نان، نمونه‌های نان با ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر تهیه شدند. نمونهٔ بریده‌شده روی صفحهٔ اسکنر (مدل HP Scanjet G3010، ساخت آمریکا) با وضوح ۳۰۰ نقطه در اینچ از نمونه‌ها تصویربرداری گردید. پس از انتقال تصاویر به نرم‌افزار Image J نسخهٔ ۱/۴۲ و ازطریق فعال‌سازی قسمت دودویی رنگ نقاط تیره به سیاه و رنگ نقاط روشن به سفید تغییر یافت و یک تصویری سیاه‌وسفید تهیه شد. با فعال‌کردن قسمت اندازه‌گیری نرم‌افزار، مساحت مناطق تیره برحسب سانتی‌مترمربع محاسبه گردید سپس با فعال‌کردن قسمت برگردان نرم‌افزار قسمت‌های سیاه (منافذ) به رنگ سفید و قسمت‌های روشن (دیواره‌ها) به رنگ سیاه برگردانده شدند مجدداً مساحت قسمت‌های تیرهٔ جدید برحسب سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد. نسبت مساحت‌ها به‌عنوان شاخصی از تخلخل نان توسط رابطهٔ (۴) محاسبه گردید.

رابطهٔ (۴)

$$\text{تخلخل} = \frac{\text{مساحت قسمت سیاه تصویر اول}}{\text{مساحت قسمت سیاه تصویر دوم}}$$

ارزیابی شاخص‌های رنگی پوستهٔ سطح نان

به‌منظور ارزیابی فاکتورهای رنگی (L^*، a^* و b^*) پوستهٔ نان توسط تیغه از مغز نان جداشده و برشی به ابعاد ۶×۸ سانتی‌متر از پوسته تهیه شد. به‌وسیلهٔ اسکنر (مدل HP Scanjet G3010، ساخت آمریکا) با وضوح ۶۰۰ dpi تصویربرداری شد. سپس تصاویر تهیه‌شده در نرم‌افزار Image J مورد بررسی قرار گرفتند. با فعال‌کردن قسمت تبدیل رنگ، تصاویر از حالت RGB به حالت Lab تغییر یافتند و هریک از پارامترهای L^*، a^* و b^* و در تصویر یک تصویر مجزا مشخص شد. در ادامه با فعال‌کردن قسمت آنالیز نرم‌افزار، میزان L^*، a^* و b^* اندازه‌گیری شد (Zheng *et al*., 2006; Salehi & Kashaninejad, 2015). در انتها فاکتور برآیند کلّی رنگ با استفاده از رابطهٔ (۵) محاسبه گردید.

رابطهٔ (۵)

$$\Delta E = \sqrt{\left(L_0^* - L^*\right)^2 + \left(a_0^* - a^*\right)^2 + \left(b_0^* - b^*\right)^2}$$

در رابطهٔ (۵)، علائم با زیروند صفر مربوط به مقادیر نمونهٔ شاهد (خمیر نان) می‌باشد.

آنالیز آماری

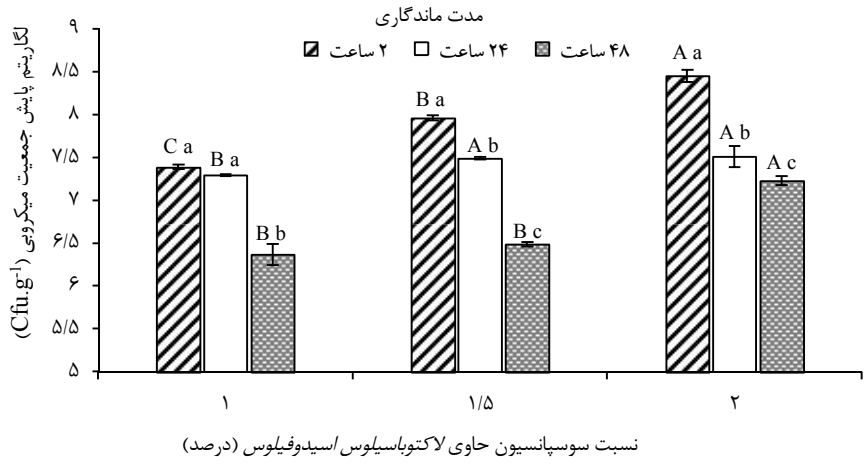
نتایج حاصل از این پژوهش براساس طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزارهای SAS نسخهٔ ۹.۱ و Microsoft Excel نسخهٔ ۲۰۱۳ مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. مقایسهٔ میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) و آزمون دانکن در سطح ۹۵ درصد انجام شد. علاوه‌بر این پاسخ‌های مورد ارزیابی در این پژوهش شامل؛ بررسی بیاتی نان‌های تولیدی با آزمون بافت‌سنجی (شاخصی از بیاتی نان مسطح)، اندازه‌گیری حجم مخصوص نان (با روش جابجایی دانهٔ کُلزا)، تعیین میزان تخلخل مغز نان، اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی L^* a^* b^* با نرم‌افزار Image J و پایش جمعیت میکروبی در نان پروبیوتیک طی مدت ماندگاری صورت گرفت.

نتایج و بحث

پایش بقای جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک در طول مدت ماندگاری

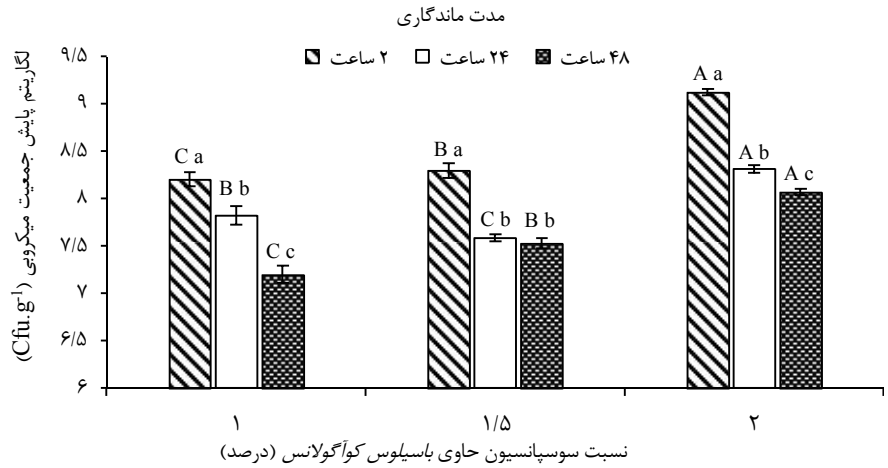
نتایج حاصل از پایش جمعیت نان پروبیوتیک مسطح تولیدی با نسبت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ درصد پوشش از سویهٔ پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در طول مدت ماندگاری ۲، ۲۴ و ۴۸ را در شکل (۱) نشان داد. براین‌اساس با افزایش نسبت سوسپانسیون واردشده به سطح نان جمعیت میکروبی افزایش یافت درحالی‌که تأثیر زمان نگهداری سبب کاهش جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک در سطح یک سیکل لگاریتمی شده است به‌طوری‌که این کاهش جمعیت در نمونهٔ ۱ درصد سوسپانسیون برای *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* نیز به‌مراتب شدیدتر بود. همچنین نمونه‌های حاوی ۲ درصد پوشش در حالت تازه‌خوری (۲ ساعت بعد از پخت) بالاترین جمعیت میکروبی را در هر دو سویه و نمونهٔ حاوی ۱ درصد پوشش بعد از ۴۸ ساعت نگهداری کمترین پایش جمعیت رو داشتند. در مقابل آن تأثیر طول مدت ماندگاری سبب کاهش جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک تلقیح‌شده با *باسیلوس کوآگولانس* در سطح دو سیکل لگاریتمی با پایش

جمعیت اولیهٔ بالاتر نسبت به *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* شده بود (شکل ۲). آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات جمعیت میکروبی نمونهٔ نان‌های تولیدی در دو سویهٔ مختلف و نیز تأثیر معنی‌داری شرایط اعمال‌شده در سطح ۵ درصد در این پژوهش را مشخص نمود ($P\leq$۰/۰۵).



شکل ۱- پایش بقای جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در طول مدت ماندگاری

حروف غیریکسان بزرگ (A-B)، نشانگر تفاوت معنی‌داری نمونه‌های با نسبت سوسپانسیون مختلف از *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در سطح (α=۰/۰۵) در هر روز از زمان ماندگاری می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز انجام‌شده با حروف کوچک (a-b-c) نمایانگر اختلاف معنی‌داری با یک نسبت سوسپانسیون ثابت در طول مدت ماندگاری را نشان می‌دهد ($P\leq$۰/۰۵).



شکل ۲- پایش بقای جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک حاوی *باسیلوس کوآگولانس* در طول مدت ماندگاری

حروف غیریکسان بزرگ (A-B)، نشانگر تفاوت معنی‌داری نمونه‌های با نسبت سوسپانسیون مختلف از *باسیلوس کوآگولانس* در سطح (α=۰/۰۵) در هر روز از زمان ماندگاری می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز انجام‌شده با حروف کوچک (a-b-c) نمایانگر اختلاف معنی‌داری با یک نسبت سوسپانسیون ثابت در طول مدت ماندگاری را نشان می‌دهد ($P\leq$۰/۰۵).

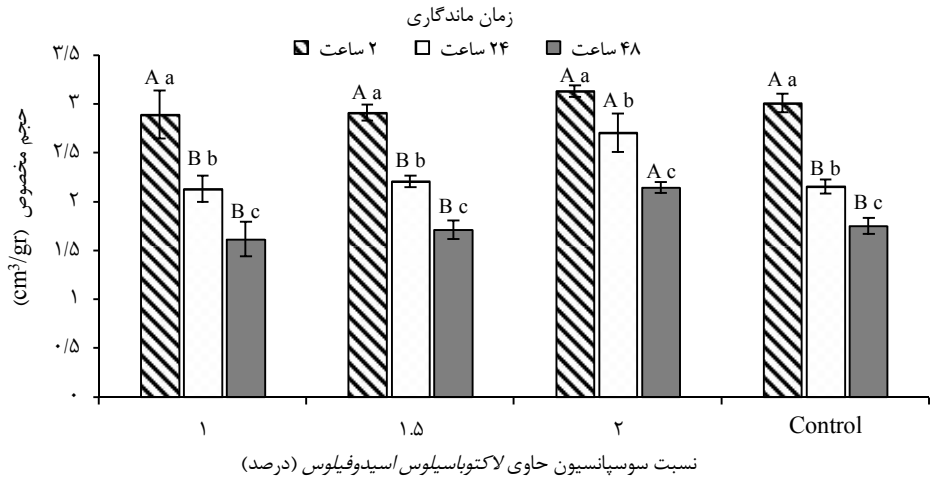
استفاده از سوسپانسیون ریزپوشانی سویه‌های *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *باسیلوس کوآگولانس* در انتهای فاز لگاریتمی و آغاز فاز سکون (شروع مرحلهٔ آیدوفاز) سبب افزایش مقاومت در فرایند حرارتی بعد از پخت می‌گردد. ازاین‌رو، نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج Kosin و Rakshit (۲۰۱۰)، که به بررسی باکتری‌ها در فاز سکون، در مقایسه با فاز لگاریتمی بـه تنش‌های اعمال‌شده حین فراوری مقاومت بیشتری دارند، مطابقت داشت. Zhang و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی بقاء جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک تلقیح‌شده با *بیفیدوباکتریوم*[1] در طول

[1] *Bifidobacterium*

مدت ماندگاری پرداختند. نتایج نشان داد، پس از یک کاهش اولیه در زنده‌مانی جمعیت باکتری‌های پروبیوتیک، با تداوم زمان حرارت‌دهی میزان مرگ باکتری‌ها کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش ناگهانی دمای محیط (شوک حرارتی) پروتئین‌هایی در سلول ایجادشده که باعث افزایش مقاومت نسبی باکتری‌ها در برابر حرارت می‌گردد (Fu & Chen, 2011; Hosseininezhad *et al*., 2015). همچنین ترکیبات پرکننده در ریزپوشانی دیوارهٔ باکتری‌ها نظیر نشاسته، باعث افزایش پایداری ریزپوشینه در شرایط تنش‌زای حرارتی و همچنین در طول مدت ماندگاری می‌گردد (Wu *et al*., 2014). تأثیر اندازهٔ ریزپوشانی باعث نامناسب‌شدن بافت فراورده‌های غذایی و مکمل‌های خوراکی میکروبی می‌گردد درحالی‌که جهت حفظ بقاء پروبیوتیک در شرایط حرارتی اندازهٔ بزرگ ریزپوشینه با اندازهٔ کمتر از ۱۰۰ میکرومتر مناسب هستند (Homayouni *et al*., 2007; Rokka & Rantamaki, 2010). ازآنجایی‌که بعد از خروج نان از فر پخت، پروبیوتیک‌ها در معرض تنش حرارتی قرار می‌گیرند؛ اندازهٔ ریزپوشینه می‌تواند عامل مؤثری در افزایش پایداری ریزپوشینه‌ها و زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در حین و بعد از پخت نان باشد.

ارزیابی خصوصیات کیفی نان سنّتی پروبیوتیک

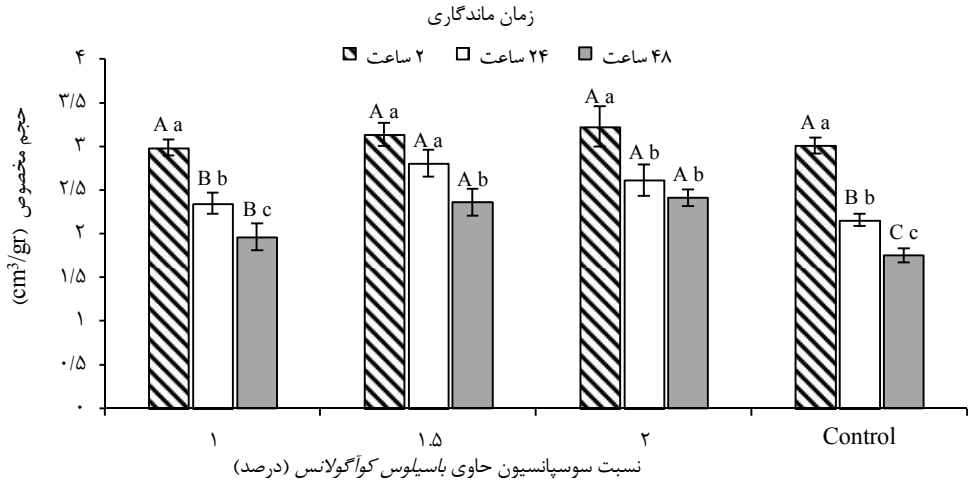
رابطهٔ ساختار مغز نان و بسیاری از ویژگی‌های کیفی آن نظیر تخلخل و حجم مخصوص مشخص ساخته که خواص مکانیکی مغز نان بیشتر تابع چگونگی توزیع اجزاء بوده و وابستگی کمتری به اندازهٔ اجزاء دارد. ازاین‌رو، بین عوامل مؤثر بر تخلخل نان، تولید گاز در حین فرایندهای تخمیری از اهمیت بیشتری در مقایسه با روش‌های فراوری یا مخلوط‌کردن اجزاء خمیر برخوردار بود. براین‌اساس حجم مخصوص و تخلخل نان مسطح تولیدی که حاوی سوسپانسیون باکتری پروبیوتیک مطابق با استاندارد ۵ مک فارلند و تعداد $۲/۹\times۱۰^{۸}$ باکتری ریزپوشانی‌شده تهیه و به همراه نشاستهٔ خوراکی ۵ درصد با ایجاد نسبت‌های متغیر ۱، ۱/۵ و ۲ درصد از سوسپانسیون پروبیوتیک ارزیابی گردید. نتایج حاصل از این پژوهش در شکل (۳) نشان داد که با گذشت زمان از میزان حجم مخصوص نان پروبیوتیک تلقیح‌شده با *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در مقایسه با نمونهٔ شاهد کاهش یافت ($P\leq۰/۰۵$)، درحالی‌که تأثیر نسبت‌های مختلفی از غلظت‌های سوسپانسیون روی سطح نان سنّتی عدم معنی‌داری حجم مخصوص را در مقایسه با نمونهٔ شاهد بین نمونه‌های نان به همراه داشت ($P\geq۰/۰۵$). براین‌اساس نمونه‌های حاوی ۲ درصد سوسپانسیون در حالت تازه‌خوری و نمونهٔ ۱ درصد بعد از ۴۸ ساعت به‌ترتیب بالاترین و کمترین حجم مخصوص را به خود اختصاص دادند.



شکل ۳- ارزیابی حجم مخصوص نان حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در طول مدت ماندگاری

حروف غیریکسان بزرگ (A-B)، نشانگر تفاوت معنی‌داری نمونه‌های با نسبت سوسپانسیون مختلف از *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در سطح (α=۰/۰۵) در هر روز از زمان ماندگاری می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز انجام‌شده با حروف کوچک (a-b-c) نمایانگر اختلاف معنی‌داری با یک نسبت سوسپانسیون ثابت در طول مدت ماندگاری را نشان می‌دهد ($P\leq۰/۰۵$).

در میان نان‌های تولیدی، نان‌های حاوی سوسپانسیون *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* به‌مراتب کاهش حجم مخصوص شدیدتری در مقایسه با *باسیلوس کواگولانس* داشت، که علت را می‌توان به ازدست‌رفتن رطوبت بخش مرکزی و فشرده‌ترشدن شدیدتر بافت نان آن نسبت به *باسیلوس کواگولانس* ارتباط داد، علاوه‌بر این در یک بازهٔ زمانی ثابت تأثیر پوشش حاوی سوسپانسیون زندهٔ باکتری ریزپوشانی‌شده به همراه نشاستهٔ خوراکی سبب افزایش جزئی در حجم مخصوص نان شد به‌طوری‌که سطح ۲ درصد پوشش تأثیر معنی‌داری را در حجم مخصوص نان نسبت به سایر تیمارها به همراه داشت. در این میان تیمار حاوی ۲ درصد سوسپانسیون (*باسیلوس کواگولانس*) در نان تازه‌خوری (۲ ساعت بعد از پخت) بیشترین حجم مخصوص و نمونهٔ حاوی ۱ درصد سوسپانسیون پوشش‌دهی‌شده بعد از ۴۸ ساعت ماندگاری نان کمترین حجم مخصوص را در مقایسه با نمونهٔ شاهد نشان داد (شکل ۴). Zhang و همکاران (۲۰۱۴) در استفاده از *بیفیدوباکتریوم لاکتیس* Bb12 در فرمولاسیون نان افزایش حجم مخصوص را در طی گسترش مغز نان مشاهده کردند. در مطالعهٔ Altamirano-Fortoul و همکاران (۲۰۱۲) استفاده از مخلوط نشاسته و سوسپانسیون ریزپوشانی باکتری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در تولید نان پروبیوتیک موجب کاهش حجم مخصوص نمونهٔ نان گردیده درحالی‌که به‌کارگیری از نشاسته به تنهایی و با تلفیق سوسپانسیون میکروانکپسولهٔ خشک‌شده به روش خشک‌کن پاششی اختلاف معنی‌داری با نمونهٔ شاهد نداشت.



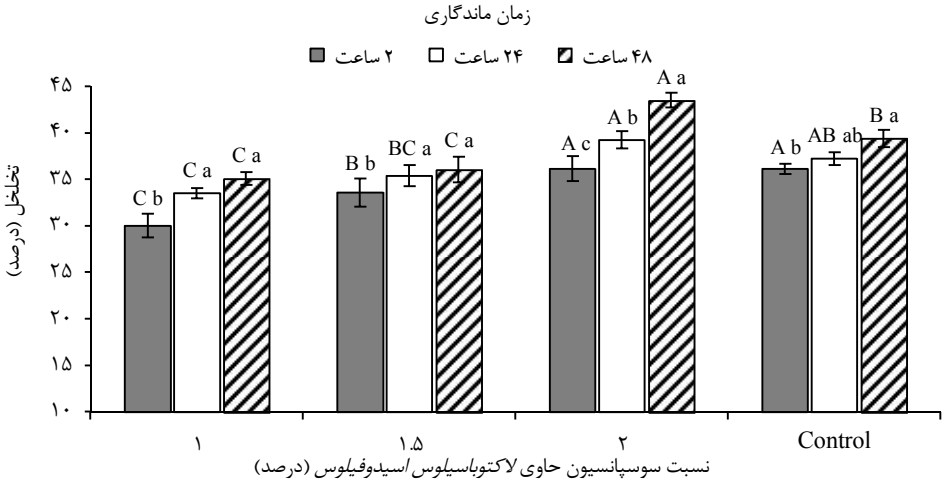
شکل ۴- ارزیابی حجم مخصوص نان حاوی *باسیلوس کواگولانس* در طول مدت ماندگاری

حروف غیریکسان بزرگ (A-B)، نشانگر تفاوت معنی‌داری نمونه‌های با نسبت سوسپانسیون مختلف از *باسیلوس کواگولانس* در سطح (α=۰/۰۵) در هر روز از زمان ماندگاری می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز انجام‌شده با حروف کوچک (a-b-c) نمایانگر اختلاف معنی‌داری با یک نسبت سوسپانسیون ثابت در طول مدت ماندگاری را نشان می‌دهد (P≤۰/۰۵).

Zhang و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی زنده‌مانی *بیفیدوباکتریوم لاکتیس* Bb12 در طول فرایند پخت و بررسی خصوصیات کیفی نان پرداختند، نتایج نشان داد، با افزایش زمان پخت حجم مخصوص نان پروبیوتیک تلقیح‌شده با سویهٔ ذکرشده در مقایسه با نمونهٔ شاهد روند افزایشی داشت.

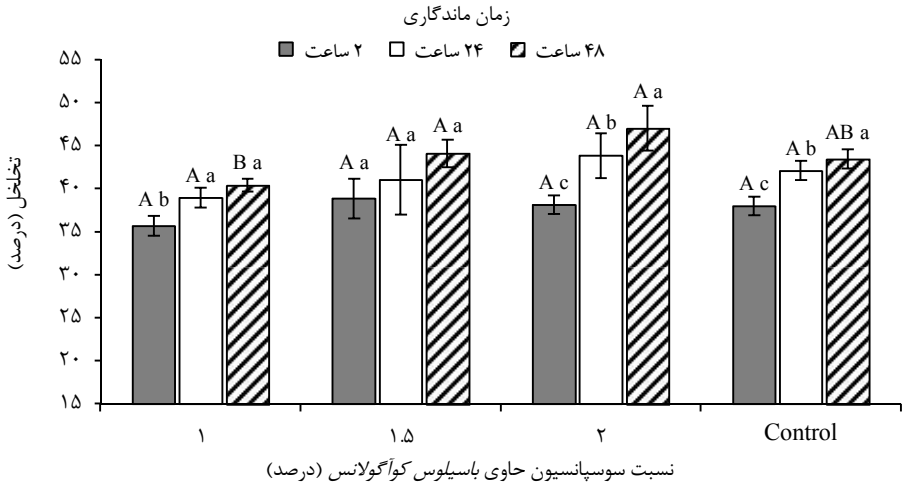
همچنین نتایج حاصل از بررسی شاخص تخلخل نان پروبیوتیک نشان داد (شکل ۵ و ۶) که افزایش سوسپانسیون زندهٔ باکتری ریزپوشانی‌شده به همراه نشاستهٔ خوراکی سبب افزایش جزئی تخلخل نان نسبت به نمونهٔ نان شاهد شد درحالی‌که آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۵ درصد را تأیید نمود (P≥۰/۰۵). درحالی‌که تأثیر زمان ماندگاری تا سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری در هر دو سویهٔ پروبیوتیک را در مقایسه با نمونهٔ شاهد ایجاد نمود (P≤۰/۰۵). براین‌اساس

نمونهٔ حاوی ۲ درصد سوسپانسیون ریزپوشانی (*لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *باسیلوس کواگولانس*) بعد از ۴۸ ساعت بالاترین تخلخل و تیمار ۱ درصد در حالت تازه‌خوری به همراه نمونهٔ شاهد کمترین مقادیر تخلخل را به خود اختصاص دادند. همچنین طی گذشت زمان به‌دلیل ازدست‌دادن رطوبت، ساختار نان فشرده و شکننده شده و تخلخل موجود در بافت نان مقاومت کافی جهت نگهداری دی‌اکسید کربن در شبکهٔ گلوتنی را نداشته و گاز در نان به‌طور مناسب توزیع نمی‌گردد و این ناهماهنگی در اندازهٔ حفره‌های موجود در بافت نان سبب تغییر در مقادیر تخلخل در برخی از نمونه‌های نان مسطح می‌گردد.



شکل ۵- ارزیابی تخلخل نان حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در طول مدت ماندگاری

حروف غیریکسان بزرگ (A-B)، نشانگر تفاوت معنی‌داری نمونه‌های با نسبت سوسپانسیون مختلف از *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در سطح (α=۰/۰۵) در هر روز از زمان ماندگاری می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز انجام‌شده با حروف کوچک (a-b-c) نمایانگر اختلاف معنی‌داری با یک نسبت سوسپانسیون ثابت در طول مدت ماندگاری را نشان می‌دهد ($P\leq$۰/۰۵).



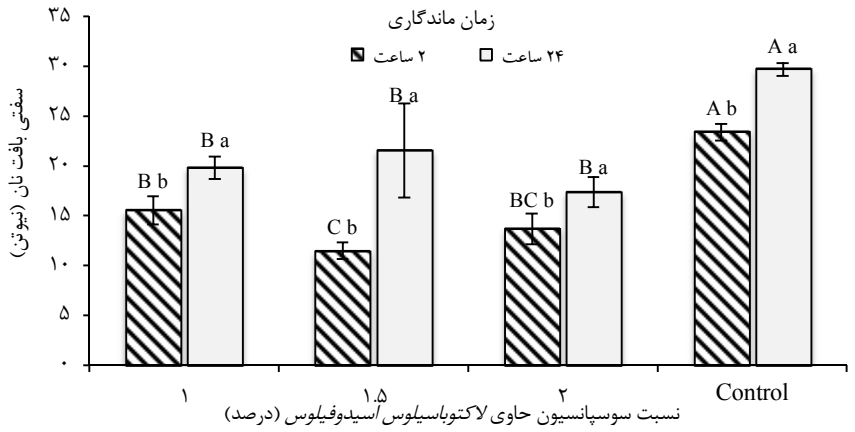
شکل ۶- ارزیابی تخلخل نان حاوی *باسیلوس کواگولانس* در طول مدت ماندگاری

حروف غیریکسان بزرگ (A-B)، نشانگر تفاوت معنی‌داری نمونه‌های با نسبت سوسپانسیون مختلف از *باسیلوس کواگولانس* در سطح (α=۰/۰۵) در هر روز از زمان ماندگاری می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز انجام‌شده با حروف کوچک (a-b-c) نمایانگر اختلاف معنی‌داری با یک نسبت سوسپانسیون ثابت در طول مدت ماندگاری را نشان می‌دهد ($P\leq$۰/۰۵).

نتایج حاصل از پژوهش Razavizadegan jahromi و همکاران (۲۰۱۳)، نشان داد که ساختار گلوتن خمیر نان در طول مدت ماندگاری ضعیف‌تر و باعث کشش‌پذیری بیشتر آن می‌شود که این امر نگهداری گاز را کاهش‌داده و درنتیجه باعث سفت‌شدن و شکننده‌شدن بافت نان تولیدی می‌گردد. این امر سبب افزایش میزان تخلخل بافت نمونه‌های تولیدی در طی مدت ماندگاری می‌گردد (Shehzad *et al*., 2010). احتیاطی و همکاران (۱۳۸۷)، به بررسی تصاویر مغز نان بربری غنی‌شده با ترکیبات فراسودمند به کمک نرم‌افزار پردازش تصویر پرداختند، نتایج نشان داد، با افزایش زمان ماندگاری و توسعهٔ تغییرات فیزیکوشیمیایی در بافت نان، تخلخل آن کاهش پیدا می‌کند. این تغییرات محسوس در ساختار نان مسطح و نیمه‌حجیم به‌دلیل هوای کمتر مشهود بود.

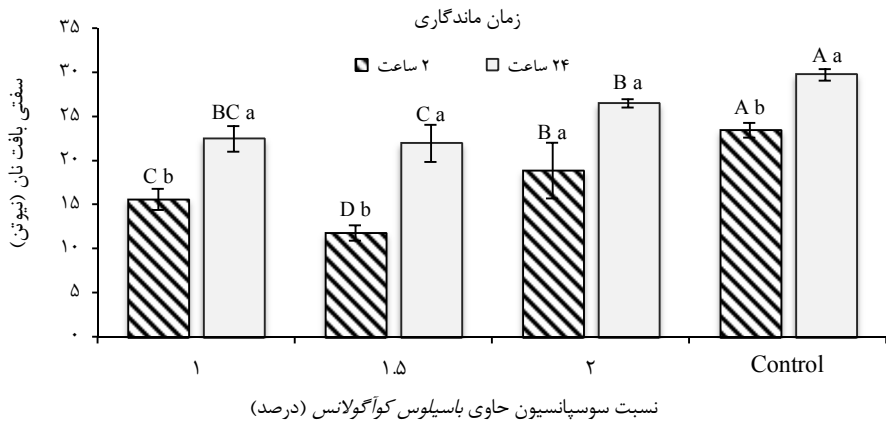
ارزیابی سفتی بافت نان

سفتی نشان‌دهندهٔ نیروی اعمال‌شده برای گاززدن و یا مقاومت بافت نان در برابر نیروی اعمال‌شده بدون تخریب اساسی آن است. نتایج مربوط به آن در طول دورهٔ نگهداری (۲۴ ساعت بعد از پخت) در شکل (۷ و ۸) آمده است. همان‌طورکه نشان‌داده افزایش سوسپانسیون‌های پروبیوتیک روند مشخصی در تغییرات بافتی نان نشان نداند ($P\geq$۰/۰۵) درحالی‌که در بین نمونه‌های نان پروبیوتیک تولیدی تلقیح‌شده با *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *باسیلوس کوآگولانس* به‌ترتیب نمونهٔ حاوی ۲ درصد و ۱/۵ درصد سوسپانسیون، سفتی کمتری در مقایسه با سایر نسبت‌های پروبیوتیک داشتند. باتوجه‌به آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تیمارهای ذکرشده نمونهٔ حاوی ۱/۵ درصد سوسپانسیون *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در حالت تازه‌خوری کمترین و بیشترین سفتی را روی بافت نان در حالت تازه‌خوری و طی یک‌شبانه‌روز نگهداری در مقایسه با نمونهٔ شاهد نشان داد. همچنین نمونهٔ حاوی ۱/۵ درصد سوسپانسیون ریزپوشانی در باکتری *باسیلوس کوآگولانس* در حالت تازه‌خوری و ۲ درصد ریزپوشانی در طول نگهداری به‌ترتیب کمترین و بیشترین سفتی را در مقایسه با نمونهٔ شاهد نشان داد ($P\leq$۰/۰۵).



شکل ۷- ارزیابی سفتی بافت نان حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در طول مدت ماندگاری

حروف غیریکسان بزرگ (A-B)، نشانگر تفاوت معنی‌داری نمونه‌های با نسبت سوسپانسیون مختلف از *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در سطح (α=۰/۰۵) در هر روز از زمان ماندگاری می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز انجام‌شده با حروف کوچک (a-b-c) نمایانگر اختلاف معنی‌داری با یک نسبت سوسپانسیون ثابت در طول مدت ماندگاری را نشان می‌دهد ($P\leq$۰/۰۵).



شکل ۸- ارزیابی سفتی بافت نان حاوی *باسیلوس کواگولانس* در طول مدت ماندگاری

حروف غیریکسان بزرگ (A-B)، نشانگر تفاوت معنی‌داری نمونه‌های با نسبت سوسپانسیون مختلف از *باسیلوس کوآگولانس* در سطح (α=۰/۰۵) در هر روز از زمان ماندگاری می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز انجام‌شده با حروف کوچک (a-b-c) نمایانگر اختلاف معنی‌داری با یک نسبت سوسپانسیون ثابت در طول مدت ماندگاری را نشان می‌دهد (P≤۰/۰۵).

یوسفی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی سفتی بافت نان پروبیوتیک دریافتند که ریزپوشانی باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* A7 توسط آلژینات سدیم و نشاستهٔ ذرت سبب ایجاد بافت نرم‌تری در مقابل نمونهٔ شاهد گردید. Altamirano-Fortoul و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی استفاده از مخلوط نشاسته و سوسپانسیون میکروانکپسولهٔ باکتری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در تولید نان پرداختند، نتایج حاصل از پژوهش محققین فوق نشان داد که مخلوط نشاسته و سوسپانسیون میکروانکپسولهٔ باکتری سبب کاهش نیروی لازم برای فشردگی بافت نمونهٔ نان می‌گردد. Guarda و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند هیدروکلوئیدهایی که در تلفیق با باکتری پروبیوتیک ریزپوشانی‌شده، استفاده می‌گردد شامل پلی‌ساکاریدهای محلول در آبی هستند که با تأثیر بر ساختار نشاستهٔ نان، باعث توزیع و حفظ بهتر آب و متعاقباً کاهش سفتی مغز نان نسبت به نمونهٔ شاهد می‌شوند.

ارزیابی نتایج آزمون رنگ‌سنجی نان‌های تولیدی

نتایج آزمون رنگ‌سنجی پوستهٔ نان پروبیوتیک تحت‌تأثیر تیمار باکتری‌های ریزپوشانی‌شده، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* شمارهٔ (۱) و *باسیلوس کوآگولانس* شمارهٔ (۲) به همراه نشاستهٔ خوراکی ۵ درصد در طول مدت ماندگاری نیز در جدول (۲) ارائه شده است. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین آزمون رنگ‌سنجی نان‌های تولیدی در سطح ۵ درصد نشان داد که در محدودهٔ شرایط اعمال‌شده در این پژوهش، تأثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بر میزان شاخص‌های رنگ (L^*، a^* و b^*) نان در طی ۴۸ ساعت نگهداری داشتند. به‌طوری‌که با افزایش نسبت سوسپانسیون از میزان روشنایی رنگی پوستهٔ نان نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش یافت و همچنین تأثیر مدت ماندگاری تأثیر مستقیم در افزایش روشنایی نمونهٔ تیمارهای حاوی هر دو سوسپانسیون (۱ و ۲) نان داشت. علاوه‌بر این بر میزان ΔE که نشان‌دهندهٔ برآیند تغییرات کلّی رنگ نان نسبت به نمونهٔ شاهد بوده، روند افزایشی با تأثیر تیمارهای ذکرشده در طول مدت ماندگاری در سوسپانسیون نمونهٔ اول حاوی باکتری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با شمارهٔ (۱) داشت. درحالی‌که در سوسپانسیون حاوی باکتری (۲) در طول مدت ماندگاری از روند مناسبی پیروی نکرد.

رنگ پوستهٔ نان در اثر واکنش مایلارد تشکیل می‌شود، در اثر ترکیب مواد ازته با مواد احیاکننده، در لایهٔ سطحی عمل قهوه‌ای‌شدن اتفاق می‌افتد. مقداری از رنگ پوستهٔ نان مربوط به کارامیلیزه‌شدن قندهاست، براین‌اساس شدت رنگ مربوط به مقدار مواد مؤثر و شرایطی که این مواد تحت آن وارد عمل

می‌شوند، نظیر دما و سرعت ازدست‌رفتن آب سطح پوستهٔ نان و شدت رنگ تأثیر زیادی دارد (Costa de Conto *et al.*, 2012). Altamirano-Fortoul و همکاران (۲۰۱۲)، در تولید نان پروبیوتیک کاهش شاخص روشنایی را مشاهده کردند و علت آن را استفاده از روش خشک‌کن پاششی و تورم نشاسته بیان نمودند، به‌طوری‌که بعد از متورم‌شدن نشاسته میزان عبور نور از میان گرانول‌ها بیشتر و درنتیجه میزان انعکاس آن کمتر می‌شود که این می‌تواند دلیلی برای کاهش روشنایی باشد. ازطرفی حضور نشاسته باعث کاهش مقادیر شاخص‌های a^* و b^* گردید.

جدول ۲ - بررسی نتایج آزمون رنگ‌سنجی نان پروبیوتیک طی مدت ماندگاری

نوع باکتری	درصد سوسپانسیون	مدت ماندگاری	شاخص رنگی پوستهٔ نان			
			L^*	a^*	b^*	ΔE
شاهد	۰	۲	۴۸/۳۲±۰/۶۸^{cd}	۱۰/۵۶±۰/۵۶^{b}	۲۰/۷۹±۱/۹۶^{b}	-
شاهد	۰	۲۴	۴۹/۵۴±۰/۵۱^{cd}	۱۱/۲±۰/۲^{ab}	۲۲/۴۳±۱/۲۴^{ab}	-
شاهد	۰	۴۸	۵۱/۸۱±۱/۳^{bc}	۱۱/۹±۱/۴^{ab}	۲۳/۱۳±۲/۱۱^{a}	-
لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (کد ۱)		۲	۵۴/۳۲±۱/۲^{b}	۱۰/۵۹±۱/۰۶^{bc}	۲۰/۴۶±۰/۹۸^{b}	۵/۹۸±۱/۴۷^{bc}
۱	۱	۲۴	۵۶/۲۷±۲/۸۴^{ab}	۱۱/۴±۰/۸۱^{ab}	۲۱/۸۵±۱/۰۴^{ab}	۷/۵۷±۳/۴۴^{ab}
۱		۴۸	۵۸/۶۱±۲/۲۴^{a}	۱۲/۱۱±۱/۰۰۶^{a}	۲۱/۸۲±۱/۵۱^{ab}	۱۰/۳۰±۳/۰۶^{a}
۱		۲	۴۵/۲۷±۱/۲^{d}	۹/۴۱±۰/۹۸^{a}	۱۹/۷۶±۱/۴۹^{bc}	۴/۶۳±۲/۳۲^{c}
۱	۱/۵	۲۴	۵۴/۴۵±۱/۱۳^{b}	۱۱/۳۸±۱/۴۲^{ab}	۱۹/۹۹±۳/۰۴^{bc}	۵/۸۰±۰/۶۲^{bc}
۱		۴۸	۵۶/۰۱±۱/۳۹^{ab}	۱۱/۲۴±۰/۴۷^{ab}	۲۰/۷۳±۱/۰۱^{b}	۷/۱۷±۱/۷۶^{b}
۱		۲	۴۶/۶۴±۱/۸۵^{cd}	۹/۲۷±۱/۹۲^{c}	۲۱/۴۱±۳/۰۵^{ab}	۳/۱۸±۱/۶۳^{cd}
۱	۲	۲۴	۵۲/۶۲±۱/۸۲^{bc}	۱۱/۳۷±۱/۴۰^{ab}	۱۸/۷۱±۳/۰۶^{b}	۴/۷۷±۱/۷۶^{cd}
۱		۴۸	۵۰/۱۳±۲/۰۵^{c}	۱۱/۶۳±۱/۵^{ab}	۲۰/۷۶±۳/۷۰^{b}	۲/۹۱±۱/۸۲^{d}
باسیلوس کوآگولانس (کد ۲)		۲	۴۶/۱۸±۰/۹۹^{cd}	۱۰/۳۶±۰/۷۵^{bc}	۲۰/۷۹±۱/۴۷^{b}	۱/۰۴±۰/۳۳^{e}
۲	۱	۲۴	۵۲/۶±۱/۴۵^{bc}	۱۱/۵۴±۰/۹۲^{ab}	۲۳/۴۲±۱/۰۳^{a}	۷/۳۴±۲/۰۸^{ab}
۲		۴۸	۵۴/۳۲±۱/۳۵^{b}	۱۲/۰۸±۰/۵۷^{a}	۲۳/۱۵±۱/۶۱^{a}	۹/۰۶±۱/۶۶^{a}
۲		۲	۴۰/۲۲±۱/۱۵^{e}	۹/۴۰±۰/۳۷^{c}	۲۰/۳۵±۰/۸۳^{b}	۶/۱۶±۱/۲۱^{c}
۲	۱/۵	۲۴	۴۸/۵۸±۰/۵۱^{cd}	۱۰/۹۶±۰/۳۴^{ab}	۲۱/۵۳±۰/۶۰^{ab}	۲/۷۵±۲/۰۳^{c}
۲		۴۸	۵۱/۲۳±۱/۰۵^{bc}	۱۱/۷۷±۰/۷۶^{c}	۲۳/۲۸±۰/۶۱^{a}	۶/۰۳±۲/۵۶^{c}
۲		۲	۳۹/۵۴±۰/۸۳^{e}	۹/۶۵±۰/۴۱^{c}	۱۹/۰۹±۱/۰۱^{c}	۶/۸۶±۱/۲۷^{c}
۲	۲	۲۴	۴۴/۵۵±۰/۸۵^{de}	۱۰/۰۳±۰/۱۵^{bc}	۲۱±۰/۹۹^{ab}	۲/۴۸±۱/۰۸^{c}
۲		۴۸	۴۷/۱۱±۰/۷۳^{cd}	۱۰/۸۴±۰/۰۶^{ab}	۲۰/۳۳±۱/۸۵^{b}	۱/۸۶±۱/۰۳^{c}

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای، سلامتی نان و غنی‌سازی آن با ترکیبات مختلف با هدف ارتقاء ارزش غذایی، کیفیت محصول و بهبود ویژگی‌های فراسودمند و استفاده از پروبیوتیک‌ها و ترکیبات پری‌بیوتیک در فراوردهٔ نانوایی نیز موردتوجه محققین قرار گرفته است. براین‌اساس تکنیک ریزپوشانی پروبیوتیک‌ها ضمن بقاء و تجمع در دستگاه گوارش، اثرات فیزیولوژیکی مثبتی بر مصرف‌کننده داشته و به‌عنوان یک راهکار در جهت تحمل نمونه‌های غذایی پوشش‌دهی‌شده در شرایط شبیه‌سازی سیستم گوارش و تنش‌های حرارتی بعد از فرایند پخت خواهد بود. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، مدت ماندگاری سبب کاهش جمعیت میکروبی نان پروبیوتیک‌شده است به‌طوری‌که کاهش جمعیت در نمونهٔ ۱ درصد سوسپانسیون به‌مراتب شدیدتر بود. همچنین با

گذشت زمان در هر دو نمونهٔ نان حاوی سوسپانسیون میکروبی متفاوت، میزان حجم مخصوص و تخلخل نان به‌ترتیب روند کاهش و افزایش در مقایسه با نمونهٔ شاهد داشتند. با بررسی انجام‌شده نمونهٔ نان حاوی *باسیلوس کواگولانس* به مراتب نتایج مناسب‌تری را در مقایسه با سویهٔ دیگر داشت. در سال‌های اخیر سیاست‌گذاری‌های مسئولان نیز در جهت تولید نان‌هایی با کیفیت بالا و نیز تولید نان‌هایی باارزش تغذیه‌ای فراتر از یک نان استاندارد بوده است تا باتوجه‌به مصرف بالای این محصول در کشور ما، سطح سلامت جامعه با تولید نان‌هایی باارزش تغذیه‌ای بالاتر افزایش یابد.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر بخشی از نتایج تحقیقاتی طرح پژوهشی با عنوان «بررسی اثر مکمل‌های اینولین و باکتری‌های ریزپوشانی‌شده بر خواص حسّی، رئولوژیکی و ماندگاری نان سین‌بیوتیک» کد ۲۴۰۹۳۰۰۱ اجراشده در مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی می‌باشد.

منابع

۱- احتیاطی، الف.، محبی، م. و شهیدی، ف. ۱۳۸۷. کاربرد پردازش تصویر در رنگ‌سنجی سطحی نان غنی‌شده با آرد سویا. مجموعه مقالات هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۲۴-۲۵ مهرماه، مشهد.

۲- حسینی‌نژاد، م.، انوری، ح.، ژیانی، م. و عابدفر، ع. ۱۳۹۶. بررسی اثر استفاده از ترکیب پری‌بیوتیک اینولین بر ارزیابی حسّی و ویژگی‌های کیفی نان تافتون. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۶(۲): ۱۸۵-۱۹۸.

۳- سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۲. غلات و فراورده‌های آن-نان بربری-آئین کار تولید. شمارهٔ ۵۸۰۹، چاپ اول.

۴- یوسفی، ه.، سلیمانیان‌زاد، ص. و شاهدی باغ‌خندان، م. ۱۳۹۵. ریزپوشانی پروبیوتیک‌ها با روش امولسیون در تولید نان پروبیوتیک. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۴(۱۱): ۹۹ -۱۰۶.

5- AACC International. 2010. AACC methods P. 46-30. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 11th Ed. The St. Paul.

6- Altamirano-Fortoul, R., Moreno-Terrazas, R., Quezada-Gallo, A., & Rosell, C.M. 2012. Viability of some probiotic coatings in bread and its effect on the crust mechanical properties. Food Hydrocolloids, 29(1):166-174.

7- Ananta, E., Volkert, M., & Knorr, D. 2005. Cellular injuries and storage stability of spray-dried *lactobacillus rhamnosus* GG. International Dairy Journal, 15(4):399-409.

8- Costa de Conto, L., Oliveira, RS.P.., Martin, L.G.P., Chang, Y.K., & Steel, C.J. 2012. Effects of the addition of microencapsulated omega-3 and rosemary extract on the technological and sensory quality of white pan bread. LWT-Food Science and Technology, 45(1):103-109.

9- Doherty, S.B., Gee, V.L., Ross, R.P., Stanton, C., Fitzgerald, G.F., & Brodkorb, A. 2010. Efficacy of whey protein gel networks as potential viability-enhancing scaffolds for cell immobilization of *Lactobacillus rhamnosus* GG. Journal of Microbiological Methods, 80(3):231-241.

10- Fu, N., & Chen, X.D. 2011. Towards a maximal cell survival in convective thermal drying processes. Food Research International, 44(5):1127-1149.

11-Guarda, A., Rosell, C.M., Benedito, C., & Galotto, M.J. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. Food hydrocolloids, 18(2):241-247.

12-Haralick, R.M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 3(6):610-621.

13-Homayouni, A., Ehsani, M.R., Azizi, A., Yarmand, M.S., & Razavi, S.H. 2007. Effect of lecithin and calcium chloride solution on the microencapsulation process yield of calcium alginate beads. Iranian Polymer journal. 16(9):597-606.

14-Hossieninezhad, M., Hussain, M.A. & Britz, M.L. 2015. Stress response in probiotic *Lactobacillus casei*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 55 (6): 740-749.

15-Jackman, R.L., & Stanley, D.W. 1992. Area-and perimeter-dependent properties and failure of mature-green and red-ripe tomato pericarp tissue. Journal of Texture Studies, 23(4):461-474.

16-Kosin, B., & Rakshit, S.K. 2010. Induction of heat tolerance in autochthonous and allochthonous thermotolerant probiotics for application to white shrimp feed. Aquaculture, 306(1-4):302-309.

17-Majzoobi, M., Farahnaky, A., Nematolahi, Z., Mohamadi Hashemi, M., & Taghipour Ardakani, M.J. 2013. Effect of different levels and particle sizes of wheat bran on the quality of flat bread. Journal of Agricultural Science and Technology, 15(1):115-123.

18-Mokarram, R.R., Mortazavi, S.A., Habibi Najafi, M.B., & Shahidi, F. 2009. The influence of multi stage alginate coating on survivability of potential probiotic bacteria in simulated gastric and intestinal juice. Food Research International, 42(8):1040-1045.

19-Razavizadegan jahromi, S.M., Karimi, M., Tabatabaee yazdi, F., & Mortazavi, S.A. 2013. Response surface optimization of barbari bread-making process variables: interrelationship of texture, image and organoleptic characteristics; using image analysis for quality and shelf life prediction. Journal of Food Processing and Preservation, 38(4):1608-1621.

20-Rokka, S., & Rantamäki, P. 2010. Protecting probiotic bacteria by microencapsulation: challenges for industrial applications. European Food Research and Technology, 231(1):1-12.

21-Saarela, M., Mogensen, G., Fonden, R., Matto, J., & Mattila-Sandholm, T. 2000. Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties. Journal of Biotechnology, 84(3):197-215.

22-Salehi, F., & Kashaninejad, M. 2015. Effect of drying methods on rheological and textural properties, and color changes of wild sage seed gum. Journal of Food Science and Technology, 52(11):7361-7368.

23-Seyedain-Ardabili, M., Sharifan, A., & Ghiassi Tarzi, B. 2016. The Production of Synbiotic Bread by Microencapsulation. Food Technology and Biotechnology, 54(1):52-59.

24-Shafiee, S., Motlagh, M.A., Didar, A.R., & Minaee, S. 2008. Investigation the effect of skin on mechanical behavior of apple. Journal of Food Technology, 6(2):86-91.

25-Shehzad, A., Chiron, H., Della Valle, G., Kansou, K., Ndiaye, A., & Reguerre, A.L. 2010. Porosity and stability of bread dough during proofing determined by video image analysis for different compositions and mixing conditions. Food Research International, 43(8):1999-2005.

26-Wu, Z., He, Y., Chen, L., Han, Y., & Li, C. 2014. Characterization of Raoultella planticola Rs-2 microcapsule prepared with a blend of alginate and starch and its release behavior. Carbohydrate Polymer, 110:259-267.

27-Zhang, L., Huang, S., Ananingsih, V.K., Zhou, W., & Chen, X.D. 2014. A study on *bifidobacterium lactis* bb12 viability in bread during baking. Journal of Food Engineering, 122:33-37.

28-Zheng, C., Sun, D.-W., & Zheng, L. 2006. Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection-a review. Trends of Food Science & Technology, 17(12):642-655.

29-Zuidam, N.J., & Nedovic, V.A. 2010. Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing. P. 269-303. In V. Manojlovic, V.A. Nedovic, K. Kailasapathy, & N.J. Zuidam (eds.), Encapsulation of Probiotics for use in Food Products. Chapter 10. Springer, New York.

A Study on the Qualitative Characteristics and Microbial Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus coagulans* in Probiotic Bread

Marzieh Hosseininezhad[1*], Abbas Abedfar[2]

1- Associate Professor, Department of Food Biotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
*Corresponding author (m.hosseininezhad@rifst.ac.ir)
2- Ph.D Candidate, Department of Food Biotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

Abstract

Nowadays, the role of nutrition in the health of gastrointestinal system is deemed as a key factor in the production of functional foods with probiotic bacteria especially in the bakery industry. Therefore, microencapsulation of probiotics and their survival during baking and gastrointestinal aggregation have positive physiology effects on consumers. The aim of the research was to study qualitative characteristics and microbial survival of probiotic bread produced with 1, 1.5 and 2% encapsulated microbial suspension along with edible starch 5% during 48 h. The results of this assessment showed that the time of storage reduced microbial population of the probiotic bread in such way that the *p*opulation decline in the 1% suspension was more severe. Also, in both samples containing different microbial suspensions, the specific volume decreased while the porosity increased within 48 ($P\leq 0.05$), compared to the control. Whereas, hardness of probiotic bread increased after of 24 h which was less than the control sample ($P\leq 0.05$). Moreover, the analysis of variance and mean comparison of colorimetric test showed a significant effect ($P\leq 0.05$) on the color indexes of (L^*, a^* and b^*) after 48 hours.

Keywords: *Bacillus Coagulans,* Encapsulation, *Lactobacillus Acidophilus,* Microbial Survival, Probiotic Bread

قالب پیش‌نویس مقاله برای مجله پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی با بکارگیری امکانات استایل (سبک) در نرم‌افزار وُرد ۲۰۰۷ (سبک عنوان)

نام و نام‌خانوادگی نگارنده اول[1]، نام و نام‌خانوادگی نگارنده دوم[2*]، نام و ... نگارنده سوم[1]، .... (سبک نویسندگان)

۱- مرتبه علمی نگارنده، رشته تخصصی، نام سازمان، نام شهر، نام کشور (سبک مشخصات نویسندگان)

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

* نویسندهٔ مسئول (email@address.ac.ir)

چکیده (سبک عنوان چکیده)

چکیده فارسی با قلم B Nazanin11 در قالب یک پاراگراف، پس از اسامی نویسنده(گان) قرار گیرد. چکیده باید در عین مختصر بودن، به روشنی گویای محتوای مقاله بوده و صنعتی‌بودن طرح در مقاله اشاره شود و با تأکید بر روش‌ها، بیانگر نتایج و اهمیت کاربرد آنها باشد و در آن از کلمات اختصاری مبهم استفاده نشود. از ذکر منابع نیز خودداری گردد. تعداد کلمات چکیده بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ کلمه است. واژه‌های کلیدی با قلم B Nazanin11 به صورت برجسته و به ترتیب حروف الفبا نگارش شوند. تعداد **واژگان کلیدی** از ۵ مورد بیشتر نباشد. **از آوردن پاورقی در عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی اجتناب گردد** (سبک چکیده)

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

واژه‌های کلیدی (سبک عنوان واژه های کلیدی)

اختصاری

الفبا

پاراگراف

کلمات (سبک واژه های کلیدی)

مقدمه (سبک عنوان سطح ۱)

این قالب جهت آماده‌سازی مقاله آماده شده است. کلیه تنظیمات مربوط به صفحه و فواصل از اطراف، در این قالب اعمال شده است. لطفا یک کپی از این فایل را در قسمتی از رایانه ذخیره نموده و پس از آن با کپی و سپس چسباندن[1] متن خود در این فایل، سبک[2] مربوط را انتخاب نمایید. همچنین در هر قسمت از مقاله پس از چسباندن متن می‌توانید از مسیر زیر، به طور مستقیم سبک مربوط را اعمال فرمایید:

Paste option > match with Destination format

مقاله‌ای برای چاپ پذیرفته خواهد شد که متن کامل آن قبلاً در هیچ مجله یا نشریه‌ای منتشر و یا برای چاپ به سایر مجلات ارائه نگردیده باشد. در مقالاتی که دارای چند مؤلف هستند ترتیب اسامی و حقوق مؤلفین بر عهده ارسال کننده مقاله (نویسنده مسئول) خواهد بود. مسئولیت هر مقاله از نظر علمی بر عهده نویسنده(گان) خواهد بود. در صورتی که مقاله برای چاپ پذیرفته نشود، عیناً به نویسنده مسئول مسترد خواهد شد. مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری هیأت داوران ارزیابی شده و در صورت تصویب طبق ضوابط خاص مجله به نوبت چاپ خواهد رسید. هیأت تحریریه مجله در رد یا قبول و اصلاح مقالات آزاد است.

---

[1] Paste
[2] Style

مقدمه حاوی مروری بر پژوهش‌های گذشته با استناد به مدارک منتشر شده قبلی و شامل معرفی و توجیه موضوع مورد بررسی باشد و هدف بررسی را بوضوح روشن نماید.

مواد و روش‌ها شامل شرح کامل مواد یا وسایل بکار گرفته شده و روش آزمایش در بررسی باشد. نتایج و بحث باید شامل تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده در ارتباط با تحقیق مورد نظر باشد. متن مقاله با قلم B Nazanin 12 و عناوین اول و دوم به ترتیب با قلم B Nazanin 12 و B Nazanin 11 بصورت برجسته تایپ شود. از سیستم شماره‌گذاری برای عناوین استفاده **نشود**. همچنین شماره زیرنویس‌ها در هر صفحه از یک شروع شده و توسط خود نرم‌افزار ورد شماره‌گذاری شود و از تایپ کردن شماره خودداری شود. فاصله بین خطوط در متن مقاله Single بدون فاصله قبل و بعد انتخاب گردد. کلمات انگلیسی در متن با قلم Times New Roman 10 تایپ شوند. کلیه معادلات و روابط موجود در متن مقاله در سطر جداگانه و به ترتیب شماره گذاری گردند. واحدها باید در مقیاس متریک (SI) ارائه گردند و تمامی آنها به صورت کلمات فارسی و بعد از اعداد آورده شوند (مثال: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر). از بکار بردن کلمات خارجی- غیر از اسامی علمی- در متن خودداری و در صورت نبودن معادل فارسی فراگیر، آنها را به فارسی نوشته و اصل کلمه به صورت زیرنویس در همان صفحه ارجاع داده شود. اسامی علمی (جنس و گونه گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها) در تمام مقاله به صورت مایل تایپ شود.

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

جهت مشخص نمودن احتمال، حرف P به صورت حرف بزرگ انگلیسی و مایل با قلم Times New Roman 10 درج گردد ($P<۰/۰۵$). پرانتزها با قلم فارسی تایپ شوند.

* در صورتی که اصول بدیهی نگارش در مقاله رعایت نگردیده باشد، پیش از ارسال به داوری به نویسنده مسترد خواهد شد (برخی از اصول نگارشی در جدول ۱ آورده شده است) (سبک متن اصلی).

جدول، شکل و عکس (سبک عنوان سطح ۲ و ۳)

عنوان جدول و شکل با قلم B Nazanin10 و بصورت برجسته و متن مربوط به توضیح جدول‌ها و شکل‌ها با قلم B Nazanin10 و بصورت معمولی تایپ شود. عنوان شکل در پایین و با فرمت وسطچین (در صورتی که عنوان شکل بیش از یک خط باشد از فرمت راستچین استفاده شود) و عنوان جدول در بالا و با فرمت راستچین نوشته شده و گویای نتایج مندرج در آن باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول بصورت زیرنویس ارائه گردد. جدول‌ها و شکل‌ها در محل مناسب و به ترتیب در داخل متن مقاله گنجانده شود. جدول‌ها بدون خطوط عمودی و با حداقل خطوط افقی باشند. عنوان جدول باید مختصر و گویای ارتباط عوامل مورد بحث جدول باشد. اعداد در جدول‌ها، شکل‌ها و سایر قسمت‌های مقاله باید به فارسی باشند. عکس‌ها باید دارای مقیاس باشند و در صورت اقتباس از منابع دیگر باید منبع مورد استفاده ذکر گردد.

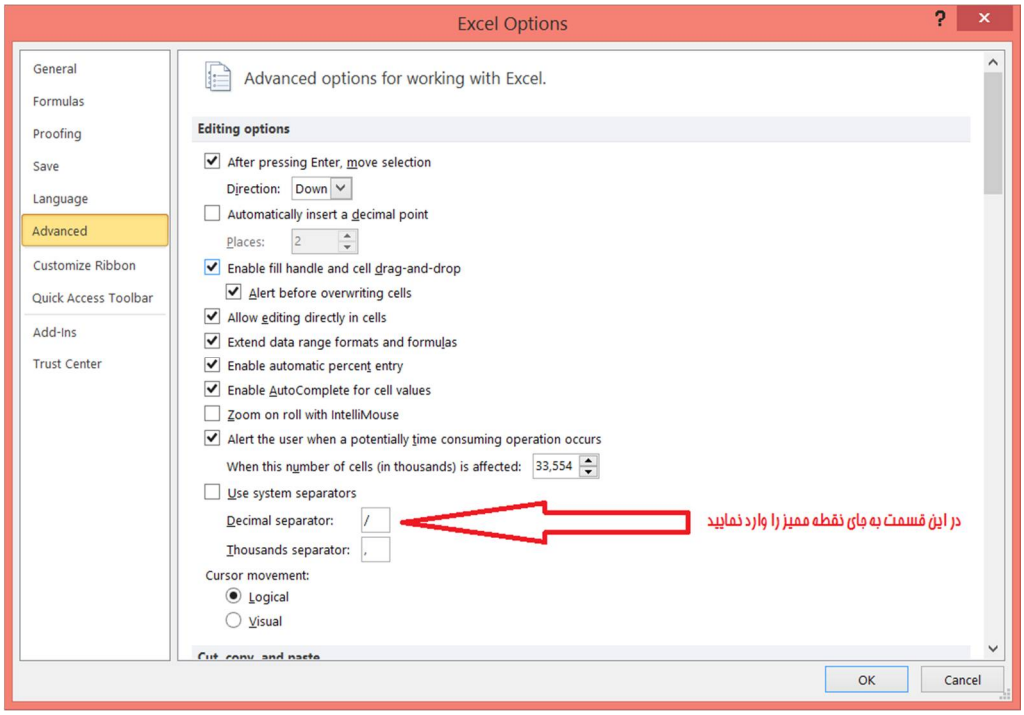
توجه: شکل‌ها باید از کیفیت مناسب برای چاپ برخوردار باشند (حتی الامکان در قالب TIFF) و از الگوهای سیاه و سفید برای ترسیم آنها استفاده شود. ممکن است برای چاپ، شکل‌ها کوچک‌تر شوند؛ بنابراین نوشته‌ها و اعداد روی شکل‌ها باید متناسب و کاملاً خوانا باشند.

نکته مهم: جهت درج اعداد اعشاری روی محور نمودارها می‌بایست از اعداد فارسی با ممیز (/) استفاده گردد و استفاده از نقطه به عنوان ممیز قابل قبول نخواهد بود. برای این منظور می‌توانید قلم‌های واجد این قابلیت (مجموعه قلم پروین) را دانلود نمایید. نحوه درج ممیز فارسی به جای نقطه در شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۲ و شکل‌های ۲ و ۳ به عنوان نمونه پیشنهاد می‌شود.

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

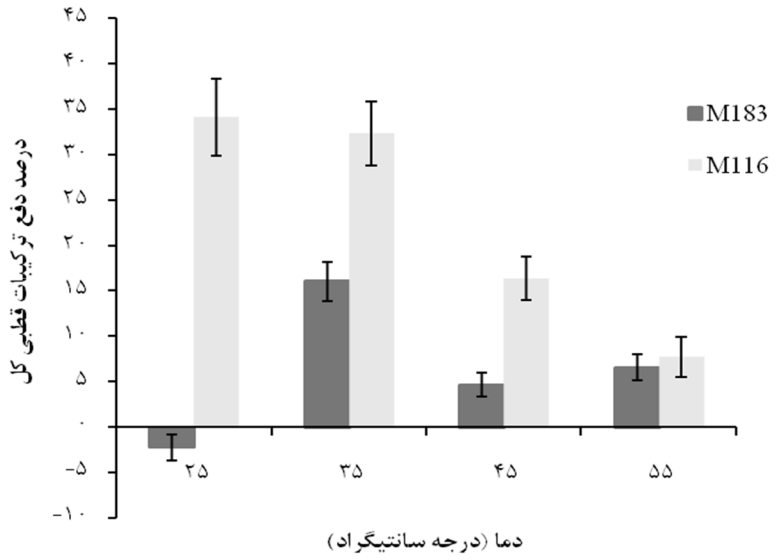
نکته نگارشی	راهنمای صفحه کلید
گذاشتن تشدید همیشه ضرورت ندارد مگر در جایی که موجب ابهام شود: معین/معیّن	SHIFT+ب
تنوین (اً)	ً=SHIFT+ض
آن همیشه جدا نوشته می‌شود مگر: آنها، آنجا، آنکه، بدان، آنچه، وانگهی	
این همیشه جدا نوشته می‌شود مگر: اینها، اینجا، اینکه، بدین	
-تر/ -ترین به غیر از بیشتر/ بیشترین، کمتر/ کمترین، بهتر/ بهترین، مهتر، مهترین، بقیه جدا نوشته می‌شوند.	
چه جدا از کلمه پیش از خود نوشته می‌شود، مگر در: چرا، چگونه، چقدر، چطور، چسان چه جدا از کلمه پس از خود نوشته می‌شود، مگر در: آنچه، چنانچه	
حرکت‌گذاری تنها در حدی لازم است که احتمال بدخوانی و ابهام داده شود: عُرضه/عَرضه؛ حَرف/حِرَف	SHIFT+ش/س/ی
که همیشه جدا نوشته می‌شود به جز در سه مورد: بلکه، اینکه، آنکه	
می– نمی با رعایت نیم‌فاصله، همواره جدا نوشته می‌شوند.	نیم‌فاصله (Ctrl+-)
ها (نشانه جمع) با رعایت نیم‌فاصله جدا از کلمه پیش از خود نوشته می‌شود (به جز در مورد آنها)	
یک در ترکیب، جدا از جزءِ پس از خود نوشته می‌شود، مگر در موارد: یکتا، یکجا، یکدست، یکدفعه، یکدیگر، یکرنگ، یکرو، یکسان، یکسره، یکسو، یکشنبه، یکنواخت	
نقطه (.)، دونقطه (:)، ویرگول (،) همواره به کلمه پیش از خود می‌چسبند ولی بعد از آنها درج یک فاصله الزامی است.	SHIFT+ک= : SHIFT+ف= ،
تأمین، تأثیر و امثال این کلمات با حمزهٔ ساکن در وسط کلمه (أ) نوشته می‌شوند.	SHIFT+د= أ
حمزهٔ پایانی پس از حرف صدادار بلند «آ» حذف می شود، مانند: ابتدا، انتها، املا، انشا، اجرا و ...	
در حالت نسبت و همراهی با «یا» ی وحدت و نکره و نیز در اضافه، به جای حمزه، «ی» قرار می گیرد، مانند: ابتدای، انتهای، املای، انشای، اجرای و ...	
اگر کلمه-ی فارسی باشد، هرگز در میان کلمه یا پایان کلمه به صورت «حمزه» نیست، بنابراین همواره با حرف «ی» نوشته می‌شود. مانند: آیین نه آئین، پاییز نه پائیز، پایین نه پائین، روییدن نه روئیدن و ...	
نشانه اضافه پس از کلمه‌های مختوم به های بیان حرکت (ـه) به صورتی یایی نیمه (ء) بالای (ها) نوشته می‌شود، مانند: محمولهٔ غذا	SHIFT+ل= ۀ
(پرانتز ابتدا، به کلمه بعد و پرانتز انتها، به کلمه قبل از خود می‌چسبند) و به ترتیب از کلمه قبل و بعد از خود فاصله می‌گیرند.	
به املای برخی از کلمات رایج در مقالات حوزه صنعت غذا نظیر فرآوری، فرآیند/فرایند و ... توجه شود.	SHIFT+ا= آ



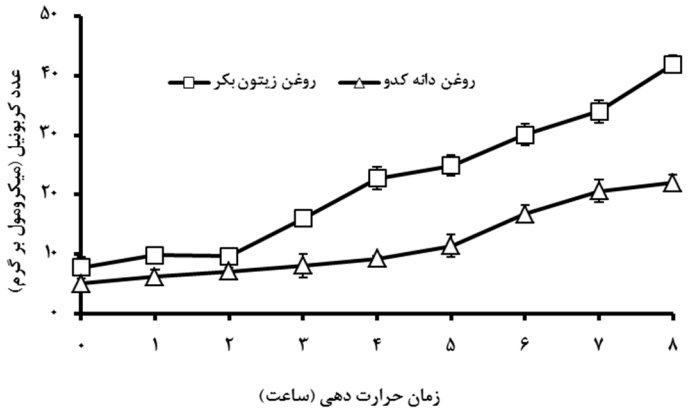
شکل ۱- نحوه درج ممیز فارسی به جای نقطه در نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ (سبک عنوان شکل)

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی مواد آلی مورد استفاده

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



شکل ۱- اثر اندازه حفره‌های غشا و دما بر درصد دفع ترکیبات قطبی کل تراوه طی اولترافیلتراسیون روغن کانولا با غشا PVDF. تیرک‌های ترسیم شده نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده است.



شکل ۲- تغییر عدد کربونیل روغن های زیتون بکر و دانه کدو طی فرایند حرارتی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد. تیرک‌های ترسیم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه گیری شده است.

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

جهت تایپ روابط و فرمول‌های ریاضی از ابزار معادله[1] موجود در نرم‌افزار آفیس با قلم کامبریا مث[2] ۹ استفاده شود و نحوه تایپ از سمت چپ انجام شود و جهت شماره‌گذاری از شماره فرمول در داخل پرانتز استفاده شود. دقت شود فرمول‌ها به صورت عکس در متن قرار داده نشود.

در نوشتن فرمول‌ها رعایت نکات زیر الزامی است:

۱- در فرمول‌نویسی پارامترها و متغیرها به صورت ایتالیک می‌آیند، ولی اعداد، کلمات، توابع مشخص و واحدها به صورت غیرایتالیک می‌آیند.

۲- در صورتی که فرمول طولانی باشد و طول آن از یک سطر تجاوز کند، باید در جای مناسب شکسته شده و ادامه فرمول در سطر بعدی آورده شود و از فشرده کردن آن پرهیز شود.

۳- وقتی ادامه فرمول در سطرهای بعدی آورده می‌شود، باید از سطر دوم به بعد از سمت چپ

[1] Insert -> Symbols -> Equation
[2] Cambria Math

فرورفتگی داشته باشد.

۴- شماره هر فرمول در گوشه سمت راست فرمول درج می‌شود.

۵- دقت شود از نقطه‌ممیز یا همان نقطه پایان جمله $(a\,.\,b)$ به جای نقطه‌ضرب $(a\,.\,b)$ استفاده نشود.

رابطهٔ (۱)

$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L_0)^2 + (a_i - a_0)^2 + (b_i - b_0)^2}$$

نحوه ارسال مقاله (سبک عنوان سطح ۱)

جهت ارسال مقاله، لازم است ابتدا کاربران در پایگاه اینترنتی نشریه به آدرس http://journals.rifst.ac.ir ثبت نام نموده و سپس مقاله خود را به صورت آنلاین ارسال نمایند. بدیهی است کاربرانی که قبلاً ثبت نام کرده اند و نام کاربری و کلمه عبور دریافت کرده اند نیازی به ثبت نام مجدد ندارند و با وارد کردن نام کاربری و کلمه عبور وارد سایت شده و ارسال مقاله جدید را انجام می دهند.

هزینه مقالات (سبک عنوان سطح ۱)

در صورت پذیرش مقاله جهت چاپ، به ازای هر صفحه مبلغ صد و پنجاه هزار ریال بابت هزینه‌های داوری، ویراستاری، چاپ و ارسال یک نسخه از نشریه دریافت می‌گردد.

فرم تعهد نویسندگان (سبک عنوان سطح ۱)

نویسندگان محترم می‌باید فرم تعهد که در صفحه نخست پایگاه اینترنتی نشریه (در زیر منوی راهنمای نویسندگان) قرار داده شده است را دریافت نموده و پس از تکمیل و امضاء، تصویر آن را به همراه فایل‌های دیگر در هنگام ارسال مقاله جدید بارگذاری نمایند.

منابع

منابع مورد استفاده باید شامل جدیدترین اطلاعات در زمینه کار مورد نظر باشند. استناد به منابع در متن مقاله به سبک هـاروارد (Harvard System: Author – Date Scheme) انجام گیرد. بدین ترتیب که نام خانوادگی نویسنده و سال انتشـار منبـع در پایـان جمله و داخل پرانتز نوشته شود. برای منابع خارجی نیازی به ترجمه فارسی اسامی نیست و در متن عینـاً بـه آن اشـاره شـود. در صورتی که تعداد نویسندگان بیش از دو نفر باشند فقط به ذکر نام خانوادگی نویسنده اول و سپس "همکاران" و یا بصورت لاتـین "*et al.,*" اکتفا شود. برای مثال:

Sparks و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که....

این امر احتمالاً به دلیل جذب مواد جامد در فرایند اسمزی می باشد که بر روی نفوذ پذیری سلول ها تأثیر می‌گذارد و... (Nelson & Sommers, 1982; Sparks *et al*., 2009).

فتحی و همکاران (۱۳۸۶) تغییرات رنگ کیوی را مورد بررسی...

تنظیم فهرست منابع نیز مطابق شیوه هاروارد انجام گیرد. در تنظیم منابع ابتدا منابع فارسی و در ادامه آن منابع لاتین به ترتیـب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده و بصورت نام خانوادگی و نام نویسنده(گان)، سال انتشار، عنوان مقاله یا کتـاب، نـام مجله یا ناشر، شماره جلد و صفحات مقاله یا کتاب نوشته شود. از سیستم شماره‌گذاری نرم‌افـزار ورد اسـتفاده شـود و از تایـپ شماره‌ها خودداری شود.

وقتی چند اثر از یک نویسنده استفاده می‌شود، ترتیب شماره‌گذاری این مقالات برحسب سال انتشار آنها (از جدید به قدیم) انجام گیرد.

منابع فارسی با قلم B Nazanin 11 و منابع انگلیسی با قلم Time new Roman 10 و فاصله بعد از هـر منبـع ۸pt انتخـاب شـود. تورفتگی منابع به صورت Hanging و ۰/۵ لحاظ گردد.

مثال‌ها

منابع فارسی

۱- شایگان، ج. و افشاری، ع. ۱۳۸۸. بررسی وضعیت آلاینده‌های شهری در فاضلاب‌های شهری و صنعتی در اراضی زراعی و باغی استان‌های جنوبی ایران. نشریه آب و خاک، ۶۱:۲۳-۵۳.

۲- ملکی، م. و دخانی، ش. ۱۳۷۴. صنایع غذایی. جلد اول، انتشارات دانشگاه شیراز، صفحات ۱۰۱-۳۳.

۳- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۷۳. روش اندازه‌گیری پایداری روغن‌ها و چربی‌های خوراکی در برابر اکسید شدن. استاندارد ملی ایران، شماره ۳۷۳۴، چاپ اول.

۴- قیطران‌پور، آ. ۱۳۹۲ .بررسی تأثیر افزودن ایزولهٔ پروتئین سویا بر کنتیک انتقال جرم، ویژگی‌های فیزیکی و روند انتقال جرم در آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- گل‌کار، ع.، نصیرپور، ع. و کرامت، ج. ۱۳۹۲. بررسی برهم‌کنش الکترواستاتیک بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی در حالت محلول و سیستم امولسیونی. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۹-۷ آبان ماه، شیراز.

منابع لاتین

مجله علمی

4- Sparks, D.L., Thompson, H.A., & Gupta, H.V. 2009. Visible changes in macro mica particles that occur with nickel depletion. Water, Air and Soil Pollution, 31:217-230.

عنوان ژورنال باید به صورت کامل و غیراختصاری درج گردد.

کتاب

5- Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.

یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited book)

6- Nelson, D.W., & Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P. 539-579. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monoger. 9. ASA and SSSA, Madison. WI.

همایش ها

7- Berrada, B. 2004. Option for water management during drought. P. 29-37. In E.D. Martin (ed.) Proceedings of the 4th Annual Four Corners Irrigation Workshop, 8-10 Jul. 2004. Soil and Water Conservation Society, New Mexico, USA.

درگاه الکترونیکی (Website)

8- Mathieu, R., Richards H.M., Brooks, S.J., Stewart, W. and Sbih M. 2004. Relationships between Radarsat SAR data and surface moisture in soil. International. Journal of Remote Sensing 24(2):65-81. Available at http://www.informaworld.com/contentUa/V.24-2-2004/article9.htm (visited 5September 2010).

9- Food and Agriculture Organization (FAO). Visited in September 2013. Available online at: http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor

A template for preparing papers in journal of research and innovation in food science and technology using styles in Microsoft word 2007(style: English title)

First and Family name of Author[1], First and Family name of Author[2*], (Style: Authors)

1- Professor, Name of the Department, University Name, Mashhad, Iran
2- Assistant Professor, Name of the Department, University Name, Mashhad, Iran (Style: Authors' Affiliation)
*Corresponding author (email@address.ac.ir)

Abstract (Style: Abstract Title)

The submitted articles are required to be written in English including an abstract which must comply with the following rules: 1) the title must be written at the top of the page, in the center, using Times New Roman BOLD, 14 pt. 2) The main words (not the prepositions) in the title must be capitalized. 3) The authors' names must be written, under the title, using Times New Roman BOLD, 12 pt. The names are followed by the authors' titles and their universities' titles using Times New Roman 11pt. 4) The keywords must be written, following the abstract text, using Times New Roman BOLD, 11 pt. (Style: Abstract)

Keywords (Style: Keywords Title): Authors' names, Main words, Title

چکیده و واژه‌های انگلیسی

چکیده انگلیسی در انتهای مقاله (بعد از فهرست منابع) قرار گیرد. عنوان انگلیسی با قلم Times New Roman 14 و به صورت برجسته در وسط سطر آورده شود. ابتدای واژه‌های اصلی عنوان انگلیسی مقاله با حروف بزرگ نوشته شود. اسامی نویسنده(گان) با قلم Times New Roman 12 و به صورت برجسته در وسط سطر و پس از آن درجه علمی و محل خدمت با قلم Times New Roman 11 و به صورت معمولی تایپ شود. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد و تعداد کلمات چکیده بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ کلمه است. چکیده انگلیسی با قلم Times New Roman 11 معمولی پس از اسامی نویسنده(گان) قرار گیرد. واژگان کلیدی انگلیسی (keywords) با قلم Times New Roman 11 به صورت برجسته پس از چکیده انگلیسی آورده شوند. تعداد واژگان کلیدی انگلیسی برابر فارسی آن باشد.

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

http://journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

JRIFST

به نام خدا

فرم اشتراک نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

خواهشمند است فرم زیر را تکمیل نموده و به آدرس زیر ارسال فرمایید:

مشهد، کیلومتر ۱۲ بزرگراه مشهد ـ قوچان، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

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

نام و نام خانوادگی:.....

نشانی:.....

.....

تلفن:.....

مایل به اشتراک مجله از تاریخ / / می‌باشم.

بهای اشتراک سالیانه ۱۰۰۰۰۰۰ ریال

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

حق اشتراک بایستی به حساب **سیبا** شماره **۲۱۷۲۰۱۱۷۰۱۰۰۸** بانک **ملی** شعبه **سجاد** به نام **پژوهشکده علوم و صنایع غذایی** بابت حق اشتراک نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی واریز و فیش آن همراه با فرم و کپی کارت دانشجویی (درصورت استفاده از تخفیف دانشجویی) ارسال گردد.

تاریخ: **امضاء:**

هیأت داوران مقالات این شماره:

دکتر آرام بُستان	گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر هما بقایی	گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد دامغان
دکتر حمید توکلی‌پور	گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد سبزوار
دکتر محمدعلی حصاری‌نژاد	گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر وحید حکیم‌زاده	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد قوچ
دکتر سیدمهدی جعفری	گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر مسلم جهانی	گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر زهره دیدار	گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد نیشابور
دکتر محمود رضازاد باری	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
دکتر محبوبه سرابی جماب	گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر پروین شرایعی	بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
دکتر اکرم شریفی	گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد قزوین
دکتر سیداحمد شهیدی	گروه صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد آیت ا... آملی
دکتر زهرا شیخ‌الاسلامی	بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
دکتر علیرضا صادقی	گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و علوم طبیعی گرگان
دکتر بهروز قرآنی	گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر بابک قنبرزاده	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تبریز
دکتر بهروز محمدزاده	گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
دکتر جلال محمدزاده	بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان
دکتر معصومه مهربان سنگ‌آتش	گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی 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 فریبا نقی‌پور	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرج
دکتر مهران نوری	گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

Contents

Studying Physicochemical Properties of Sardasht Red Grape Skin Encapsulated Extract and Stability Evaluation of These Compounds in Yoghur ……..….. 241
Sara Matini, Seyed Ali Mortazavi, Ali Reza Sadeghian, Akram Sharifi

Factors Affecting the Production and Stability of Optimal Formulation of Nanomulsion Containing Vitamin A and D by Spontaneous Production …….. 255
Akram Pezeshky Najafabadi, Fattemeh sadat Hashemi, Afra Marandi, Khadije Gharedaghi, Seyed Hosein Jalali

The Effect of Enzyme, Time and Temperature on the Properties of Hydrolyzed Protein of Viscera Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) …….....….. 269
Atena Rafatinia, Laleh Roomiani

Investigating Characteristics of Encapsulated Sumac Extract Powder with Spray Drying and the Effect of Different Storage Conditions on its Phenolic Compounds and Antioxidant Activity…….…… 281
Nasrin Malekizadeh, Seyed Hadi Peighambardoust, Aref Oladghaffari, Khashayar Sarabandi

The Optimization of Characteristics of Diet Donut Enriched with Orange Pulp Powder ..……297
Atefeh Yousefi, Behzad Nasehi, Hassan Barzegar

Optimization of the Effects of Thermoplastic Starch and Glycerol Concentration on Physicomechanical Properties of Polylactic acid/Thermoplastic Starch Blend by Response Surface Methodology …….....309
Mohammad Reza Abdollahi Moghaddam, Seyed Mohammad Ali Razavi, Yousef Jahani

Effect of Adding Potato Starch and Flour to the Qualitative Characteristics and Stailing of Sponge Cake…….…….……..…… 323
Seyyed Danial Mojarrabi, Jafar Mohammadzadeh Milani

A Study on the Qualitative Characteristics and Microbial Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus coagulans* in Probiotic Bread ……..…… 337
Marzieh Hosseininezhad, Abbas Abedfar

Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology

License No. 92.20519 **Vol. 7, No. 3, 2018**

Published by: Research Institute of Food Science and Technology

Executive Manager: R. Kadkhodaee — Associate Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology

Editor-in-Chief: S.A. Mortazavi — Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Executive Director: S. Naji-tabasi — Assistant Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology

Administrative Coordinator: T. Shojaee-devin

Editorial Board:

S.A. Mortazavi	Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
F. Shahidi	Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Gh. Rajabzadeh	Associate Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology
M.N. Eshtiaghi	Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University of Thialand
I. Alemzadeh	Professor, Department of Food Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology
S. Abbasi	Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Tarbiat Modares University
B.S. Fazli Bazzaz	Professor, Department of Pharmaceutical Chemistry, School of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences
S.M. Mousavi	Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
R. Kadkhodaee	Associate Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology
M. Hosseini Nezhad	Associate Professor, Department of Food Biotechnology, Research Institute of Food Science and Technology
H.B. Ghoddusi	Senior Lecturer & Research Fellow, School of Human Sciences, London Metropolitan University
A. Farahnaky	Food, Nutrition, Pharmaceutical and Nutraceutical Discipline Group, School of Biomedical Sciences, Faculty of Science, Charles Sturt University, Wagga Wagga, NSW, Australia
S.M. Jafari	Professor, Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Printed by: Research Institute of Food Science and Technology

Address: Research Institute of Food Science and Technology, km 12 Mashhad-Quchan Highway, Mashhad, PO. Box: 91895/157/356

Tel: 051-35425328-9

Website: http://journals.rifst.ac.ir

Email: jrifst@rifst.ac.ir

Research Institute of Food Science and Technology

Journal of **Research and Innovation in Food Science and Technology**

Volume 7, Number 3, 2018 ISSN: 2252-0937

Contents

Studying Physicochemical Properties of Sardasht Red Grape Skin Encapsulated Extract and Stability Evaluation of These Compounds in Yoghur 241
Sara Matini, Seyed Ali Mortazavi, Ali Reza Sadeghian, Akram Sharifi

Factors Affecting the Production and Stability of Optimal Formulation of Nanoemulsion Containing Vitamin A and D by Spontaneous Production 255
Akram Pezeshky Najafabadi, Fattemeh sadat Hashemi, Afra Marandi, Khadije Gharedaghi, Seyed Hosein Jalali

The Effect of Enzyme, Time and Temperature on the Properties of Hydrolyzed Protein of Viscera Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) 269
Atena Rafatinia, Laleh Roomiani

Investigating Characteristics of Encapsulated Sumac Extract Powder with Spray Drying and the Effect of Different Storage Conditions on its Phenolic Compounds and Antioxidant Activity 281
Nasrin Malekizadeh, Seyed Hadi Peighambardoust, Aref Oladghaffari, Khashayar Sarabandi

The Optimization of Characteristics of Diet Donut Enriched with Orange Pulp Powder 297
Atefeh Yousefi, Behzad Nasehi, Hassan Barzegar

Optimization of the Effects of Thermoplastic Starch and Glycerol Concentration on Physicomechanical Properties of Polylactic acid/Thermoplastic Starch Blend by Response Surface Methodology 309
Mohammad Reza Abdollahi Moghaddam, Seyed Mohammad Ali Razavi, Yousef Jahani

Effect of Adding Potato Starch and Flour to the Qualitative Characteristics and Stailing of Sponge Cake..... 323
Seyyed Danial Mojarrabi, Jafar Mohammadzadeh Milani

A Study on the Qualitative Characteristics and Microbial Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus coagulans* in Probiotic Bread 337
Marzieh Hosseininezhad, Abbas Abedfar