موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

نشریه علمی پژوهشی

پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

شاپا: ۲۲۵۲-۰۹۳۷

جلد ۷، شماره ۱، سال ۱۳۹۷

فهرست مطالب

تأثیر روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در کاهش آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده ۱

زهرا کشاورز، راضیه نیازمند، اکرم آریان‌فر

اثر نوع دیواره و روش ریزپوشانی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ریزکپسول‌های روغن‌ماهی ۱۳

بهاره شعبانپور، بهار مهراد، پرستو پورعاشوری، سیدمهدی جعفری

بهینه‌سازی متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن محصول اسنک حجیم حاوی آرد کنجالهٔ بنه ۲۹

بهنام فیوضی، محمدجواد وریدی، الناز میلانی، فخری شهیدی، محمدحسین حداد خداپرست

بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز آنزیمی پروتئین گردهٔ زنبورعسل توسط آنزیم گوارشی پپسین براساس ویژگی‌های ضداکسایشی و بازدارندگی ACE و مقایسهٔ آن با ژلهٔ رویال ۴۹

عاطفه مقصودلو، علیرضا صادقی ماهونک، محمد قربانی، فیدل تولدرا

تأثیر پیش‌فرایند ریزموج بر پایداری اکسایشی و برخی خصوصیات کمی و کیفی روغن استخراج‌شده از دانه‌های کُلزا ۶۵

معصومه مقیمی، عادل بیگ بابایی، حمید بخش‌آبادی، مرتضی محمدی، شیلان رشیدزاده

مدل‌سازی انتقال جرم در فرایند خشک‌کردن برش‌های سیب توسط پرتودهی مادون‌قرمز با روش حرارت‌دهی متناوب ۷۵

حسن صباغی، امان‌محمد ضیائی‌فر، مهدی کاشانی‌نژاد

شناسایی تقلبات شیر شتر با استفاده از مدل‌سازی تغییرات رنگی توسط پردازش تصویر و روش متقاطع مخلوط ـ فرایند ۸۹

مرتضی کاشانی‌نژاد، محبت محبی

بررسی اثر جایگزینی شکر با پودر استویا و صمغ کتیرا بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی نکتار زردآلو ۱۰۵

انسیه عسگری، محمد گلی

www.journals.rifst.ac.ir

نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی

شماره پروانه: ۹۲/۲۰۵۱۹ **جلد ۷، شماره ۱، سال ۱۳۹۶**

صاحب امتیاز: پژوهشکده علوم و صنایع غذایی

مدیر مسئول: دکتر رسول کدخدایی — دانشیار گروه نانوفناوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

سردبیر: دکتر سیدعلی مرتضوی — استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر داخلی: دکتر سارا ناجی طبسی — استادیار گروه نانوفناوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

کارشناس اجرایی: طیبه شجاعی دوین

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**

تأثیر روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در کاهش آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده ۱

زهرا کشاورزی، راضیه نیازمند، اکرم آریان‌فر

اثر نوع دیواره و روش ریزپوشانی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ریزکپسول‌های روغن‌ماهی ۱۳

بهاره شعبانپور، بهار مهراد، پرستو پورعاشوری، سیدمهدی جعفری

بهینه‌سازی متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن محصول اسنک حجیم حاوی آرد کنجالهٔ بنه ۲۹

بهنام فیوضی، محمدجواد وریدی، الناز میلانی، فخری شهیدی، محمدحسین حداد خداپرست

بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز آنزیمی پروتئین گردهٔ زنبورعسل توسط آنزیم گوارشی پپسین براساس ویژگی‌های ضداکسایشی و بازدارندگی ACE و مقایسهٔ آن با ژلهٔ رویال ۴۹

عاطفه مقصودلو، علیرضا صادقی ماهونک، محمد قربانی، فیدل تولدرا

تأثیر پیش‌فرایند ریزموج بر پایداری اکسایشی و برخی خصوصیات کمی و کیفی روغن استخراج‌شده از دانه‌های کُلزا ۶۵

معصومه مقیمی، عادل بیگ بابایی، حمید بخش‌آبادی، مرتضی محمدی، شیلان رشیدزاده

مدل‌سازی انتقال جرم در فرایند خشک‌کردن برش‌های سیب توسط پرتودهی مادون‌قرمز با روش حرارت‌دهی متناوب ۷۵

حسن صباغی، امان‌محمد ضیائی‌فر، مهدی کاشانی‌نژاد

شناسایی تقلبات شیر شتر با استفاده از مدل‌سازی تغییرات رنگی توسط پردازش تصویر و روش متقاطع مخلوط ـ فرایند ۸۹

مرتضی کاشانی‌نژاد، محبت محبی

بررسی اثر جایگزینی شکر با پودر استویا و صمغ کتیرا بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی نکتار زردآلو.. ۱۰۵

انسیه عسگری، محمد گلی

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۱۲-۱

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

تأثیر روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در کاهش آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

زهرا کشاورز[۱]، راضیه نیازمند[۲*]، اکرم آریان‌فر[۳]

۱- دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
۲- استادیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (r.niazmand@rifst.ac.ir)
۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۲۰

واژه‌های کلیدی
آکریل‌آمید
روغن‌کنجد
سیب‌زمینی
مواد صابونی‌ناشونده

چکیده

انتخاب روغن مناسب یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر کیفیت محصولات سرخ‌شده تأثیر می‌گذارد. هدف از این تحقیق کاهش میزان آکریل‌آمید و جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده با استفاده از اثر آنتی‌اکسیدانی روغن‌کنجد (غلظت‌های ۱ و ۲ درصد، وزنی/وزنی) و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن (غلظت‌های ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد، وزنی/وزنی) در دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد بود. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و براساس آزمون توکی تجزیه‌وتحلیل شدند. نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار جذب روغن و مقدار آکریل‌آمید همگام با افزایش درصد اختلاط روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بود ($P<0/05$) به‌طوری‌که کمترین میزان آکریل‌آمید مربوط به برش‌های سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی حاوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ ۰/۰۴ درصد بود که میزان آکریل‌آمید را در حدود ۶۱ درصد نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش داد ($P<0/05$). همچنین بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان جذب روغن مربوط به برش‌های سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی حاوی ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشونده بود که ۳۰/۸ درصد میزان رطوبت را نسبت به نمونهٔ شاهد افزایش و ۴۵/۹ درصد میزان جذب روغن را نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش داد ($P<0/05$).

مقدمه

سرخ‌کردن مواد غذایی به‌دلیل ایجاد خواص حسی منحصربه‌فرد امروزه به‌طور وسیعی در سطوح صنعتی و خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به کمک این روش آماده‌سازی مادهٔ غذایی با طعم دلپذیر، بافت ترد و ظاهر طلایی مطلوب تولید می‌شود (Orthoefer *et al.*,1996). هنگام سرخ‌کردن عمیق، در حضور اکسیژن و رطوبت ناشی از مادهٔ غذایی، واکنش‌های اکسایشی و هیدرولیزی زیادی در روغن صورت‌گرفته و مواد نامطلوبی ایجاد می‌شوند که ضمن بروز آثار منفی بر طعم و رنگ محصول، سلامت انسان را نیز به خطر می‌اندازد (Innawong *et al.*, 2004). یکی از این مواد نامطلوب ایجاد آکریل‌آمید می‌باشد. به‌طورکلی حرارت‌دادن چربی‌ها در دماهای بالاتر از نقطهٔ دود و نیز دهیدراسیون گلیسرول سبب تولید کرولئین[1] می‌گردد که این ترکیب به علت داشتن پیوند دوگانه بسیار فعال است و به راحتی اکسید می‌شود و اسیدآکریلیک تولید می‌کند. اسیدآکریلیک با آمونیاک واکنش می‌دهد و آکریل‌آمید تولید می‌کند که هرچه روغن غیراشباع‌تر باشد، نقطهٔ دود آن پایین‌تر بوده و آکریل‌آمید بیشتری تولید می‌کند (مرزبانی و صادقی،

[1] Acrolein

۱۳۸۹). آکریل‌آمید یک آمید غیراشباع ($CH2=CH-CONH2$) است و به راحتی در واکنش‌های شیمیایی شرکت می‌کند. این ترکیب یک مادهٔ جامد سفیدرنگ، با نقطهٔ ذوب ۸۴/۵ درجهٔ سانتی‌گراد، نقطهٔ جوش بالا ۲۳۲ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۳۶ در ۲۵ میلی‌متر جیوه) و فشار بخار پایین (۰/۰۰۷ میلی‌متر جیوه در ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) می‌باشد. ازنظر حلالیت این ترکیب به‌خوبی در آب حل می‌شود (Stadler *et al.* 2000). آکریل‌آمید در صنعت به‌منظور تهیهٔ پلی‌آکریل‌آمید تولید می‌شود جدا از کاربردهای بی‌شمار آکریل‌آمید این ترکیب به‌عنوان یک سم شناخته شده است که طیفی از مسمومیت‌ها را ایجاد می‌کند. ازجمله این آثار سوء می‌توان بر اثر مخرب آن بر اعصاب، قدرت باروری و احتمالات را تموتاژنیکی و سرطان‌زایی ازطریق تولید اپوکسیدان (گلیسیدآمید) اشاره کرد (Amrein *et al*, 2004). اهمیت آکریل‌آمید در مواد غذایی با بررسی انجام‌شده در سال ۲۰۰۲ میلادی در کشور سوئد مشخص شد. تا آن زمان آکریل‌آمید به‌عنوان یک سم صنعتی شناخته می‌شد (Amrein *et al*., 2003). بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ نیز اندازه‌گیری مقدار آکریل‌آمید در مواد غذایی دیگر ادامه یافت. در این اندازه‌گیری‌ها مشخص شد که علاوه‌بر غلات و محصولات آردی، محصولات سیب‌زمینی و قهوه، در محصولات خشک‌شده نیز میزان آکریل‌آمید بالاست. میزان دریافت آکریل‌آمید از مواد غذایی بسته به نوع رژیم غذایی دارد. ازسوی‌دیگر جذب روغن بالا در فراورده‌های سرخ‌شده عامل اصلی اضافه‌وزن و بیماری‌های قلبی در افراد شناخته شده است. همچنین مقدار بالاتر چربی در مواد غذایی سرخ‌شده، قیمت تمام‌شدهٔ محصول را افزایش می‌دهد نتایج موسویان و همکاران (۱۳۹۱) بیانگر این مطلب بود که افزودن مواد صابونی‌ناشوندهٔ مغز بنه به روغن کانولا منجربه‌کاهش بیشتری در جذب روغن نمونه‌های سیب‌زمینی شد که مؤید افزایش پایداری روغن کانولا و خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ مغز بنه می‌باشد.

با توسعهٔ روزافزون صنایع تولید محصولات سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی و مصرف بالای این محصولات در کشور، ضرورت بررسی راهکارهای کاهش این ترکیب در چیپس سیب‌زمینی احساس می‌شود، یکی از این راهکارها، مخلوط‌کردن روغن‌های سرخ‌کردنی با روغن‌هایی است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند، مثل روغن‌های کنجد و سبوس برنج که به‌طور وسیعی برای این منظور به‌کار می‌روند. روغن‌کنجد به‌رغم سیر ناشدگی بالا از پایدارترین روغن‌های خوراکی است (Budowski & Markely, 1951; Namiki, 1995). پایداری اکسایشی بالای آن عمدتاً به حضور گروهی از ترکیبات لیگنانی (Fukuda *et al*., 1986) و میزان قابل ملاحظهٔ ترکیبات توکوفرولی (۳۳۰ تا ۱۰۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت داده شده است، گاما–توکوفرول که قدرتمندترین آنتی‌اکسیدان در بین ایزومرها توکوفرول محسوب می‌شود (Lea & ward, 1959)، بیشترین میزان توکوفرول‌های روغن‌کنجد را به خود اختصاص می‌دهد. سزامین[1] و سزامولین[2] از عمده‌ترین لیگنان‌های دانهٔ خام کنجد بشمار می‌آیند (Hwang, 2005).

روغن‌های گیاهی عمدتاً از تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها (۹۵ درصد) به همراه مقداری اسیدچرب آزاد، منوآسیل‌گلیسرول و دی‌آسیل‌گلیسرول تشکیل شده‌اند، این بخش از ترکیبات لیپیدی که با پتاس یا سود واکنش می‌دهند و به صابون محلول در آب تبدیل می‌شوند تحت عنوان بخش صابونی‌شوندهٔ روغن‌ها خوانده می‌شوند (Shahidi, 2005). روغن‌های کنجد و سبوس برنج به‌ترتیب ۲ و دیگری ۳ تا ۴ درصد ترکیبات صابونی‌ناشونده دارند (Gunstone *et al*., 2002). بسیاری از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند توکوفرول‌ها و توکوتری‌انول[3] روغن سبوس برنج، لیگنان‌های روغن‌کنجد، استرول‌ها و اسکوآلن[4]، بخش مهمی از ساختار ترکیبات غیرصابونی روغن‌های خوراکی را به خود اختصاص می‌دهند و اکسایش لیپیدی را با مکانیسم‌های مختلف به تأخیر می‌اندازند. ترکیبات موجود در مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد از فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی برخوردارند و ازاین‌رو، آن را به‌عنوان منبع آنتی‌اکسیدانی معرفی کردند (Farhoosh *et al*., 2009). ترکیبات موجود در

[1] Sesamin
[2] Sesamolin
[3] Tocotrienol
[4] Squalene

مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد از فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی برخوردار بوده ازاین‌رو، به‌عنوان منبع آنتی‌اکسیدانی معرفی شده‌اند. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی روغن‌کنجد نشان داده است مقادیر ترکیبات لیگنانی، شامل استرول‌ها و اسکوالن‌ها بخش اعظمی از ترکیبات صابونی‌ناشوندهٔ این روغن را شامل می‌شود. محمدی و همکاران (۱۳۹۳)، دریافتند مخلوط کانولا/کنجد بدون اضافه‌کردن آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی، پایداری اکسایشی بیشتری نسبت به روغن کانولا به‌تنهایی داشته و هرچه نسبت روغن‌کنجد بیشتر باشد این پایداری بیشتر است. در گزارشی دیگر، وقتی سزامول به‌تنهایی با روغن‌های نباتی ترکیب شد، پایداری روغن حاصله به‌طور جزئی افزایش یافت. اما این پایداری خیلی کمتر از پایداری بود که با افزودن عصارهٔ استخراج‌شده از روغن‌کنجد حاوی همان میزان سزامول به‌دست آمد. این نتایج نشان داد که عصارهٔ کنجد حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دیگری علاوه‌بر سزامول است که در پایداری روغن‌ها شرکت می‌کنند (Kochhar *et al*, 2000). در گزارشی دیگر، افزودن ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد خام به اسیدلینولئیک و روغن پنبه‌دانه پایداری اکسایشی این روغن‌ها را به‌ترتیب در دمای ۶۰ و ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش داد (توسلی‌کفرانی و همکاران، ۱۳۸۹). فعالیت آنتی‌اکسیدانی بخش صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌های گیاهی همچون پوست بنه[1] در شرایط سرخ‌کردن عمیق روغن‌آفتاب‌گردان بررسی شد و نشان داد این بخش به‌طور معنی‌داری فعال‌تر از آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند ترسیوبوتیل هیدروکینون[2] بود (Farhoosh *et al.*, 2009).

Hedegaard و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر افزودن عصارهٔ آبی با غلظت ۱ درصد رزماری، روغن‌رزماری و برگ خشک آن به خمیر آرد گندم دریافتند که میزان تشکیل آکریل‌آمید در نان حاصل از این خمیر کاهش یافته است. در پژوهش صورت‌گرفته توسط Zhang و همکاران (۲۰۰۸)، مشخص شد که با افزودن عصارهٔ چای‌سبز و برگ‌های بامبو در سیستم مدل آسپارژین ـ گلوکز در رطوبت پایین، میزان تشکیل آکریل‌آمید کاهش یافت.

Oua و همکاران (۲۰۱۰)، در بررسی اثر آنتی‌اکسیدان‌های TBHQ، بوتیل هیدروکسی آنیزول[3]، بوتیل هیدروکسی تولوئن[4]، اپی‌گالوکاتچین گالات[5] و اسیدآسکوربیک و همچنین محصولات حاصل از اکسایش این ترکیبات، دریافتند که آنتی‌اکسیدان‌های مذکور قادر به جلوگیری از تشکیل و حذف آکریل‌آمید نیستند، اما محصولات حاصل از اکسایش این ترکیبات با ممانعت از تشکیل ترکیبات کربونیل در روغن، مانع از تشکیل آکریل‌آمید و سبب حذف آن می‌شوند. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر آنتی‌اکسیدانی روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید و جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

سیب‌زمینی گونهٔ اگریا (جدول ۱) از بازار میوه‌وتره‌بار مشهد، روغن سرخ‌کردنی نینا و روغن‌کنجد از فروشگاه‌های محلی شهر مشهد تهیه گردید. الکل ۹۶ درصد، اتیل‌اتر، هگزان نرمال و سایر حلال‌ها و مواد شیمیایی با درجهٔ آزمایشگاهی از کالای طب تجهیزآوران شرق مشهد تهیه شد.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی سیب‌زمینی

ترکیبات	مقدار
میزان آب	۸۷-۶۳ درصد
مادهٔ خشک	۱۳-۳۷ درصد
کربوهیدرات	۳۰-۱۳ درصد
پروتئین	۰/۷-۶/۴ درصد
چربی	۹۶-۰/۰۲ درصد
فیبر	۰/۲-۳/۵ درصد
خاکستر	۲-۰/۴ درصد

آماده‌سازی مخلوط روغن

روغن سرخ‌کردنی نینا به‌عنوان محیط سرخ‌کردنی اصلی استفاده شد (شاهد). روغن‌کنجد در سطح ۱ و ۲

[1] Bene Hull Oil (BHO)
[2] Tert-butyle hydroquinone (TBHQ)
[3] Butylated Hydroxy Anisole
[4] Butylated Hydroxyl Toluene
[5] Epigallocatechin Gallate

درصد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد به میزان ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد به روغن سرخ‌کردنی اضافه شدند. مخلوط‌های مذکور به‌طور جداگانه آماده شدند.

استخراج مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد

۵ گرم روغن خام کنجد با ۵۰ میلی‌لیتر پتاس اتانولی ۱ نرمال در یک ارلن مخلوط شده و به مدت ۱ ساعت در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سردشدن، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به مخلوط اضافه و در ادامه ۲ مرتبه با بخش‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری دی‌اتیل‌اتر عمل استخراج انجام گرفت. لایه‌های رویی جمع‌آوری گردیده و با ۷۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر شسته شده و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول پتاس اتانولی ۰/۵ نرمال به آن اضافه و بعد از مخلوط‌کردن با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر شسته شد. لایهٔ رویی جدا و با سولفات سدیم بدون آب مخلوط شد و پس از صاف‌شدن در آون تحت خلأ در دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک گردید. برای تخلیص بیشتر، مواد صابونی‌ناشونده در کلروفرم حل شد و بعد از صاف‌شدن، کلروفرم در دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد تحت خلأ تبخیر گردید (Lozano *et al.*,1993).

فرایند سرخ‌کردن

فرایند سرخ‌کردن در سرخ‌کن خانگی (Suny، مدل SDF-۲۲۰، ساخت چین) با قابلیت تنظیم دما در ۳ محیط روغن سرخ‌کردنی (شاهد) و مخلوط روغن سرخ‌کردنی با روغن‌کنجد ۱ و ۲ درصد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد صورت گرفت. برای اطمینان از یکنواختی دمای روغن قبل از سرخ‌کردن، روغن مورد استفاده ۱ ساعت قبل از سرخ‌کردن در دمای مورد نظر (۵± ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد) حرارت داده شد. خلال‌ها به طول ۵ سانتی‌متر و قطر ۱ سانتی‌متر به مدت ۵ دقیقه سرخ شدند و در انتهای فرایند، بلافاصله از سرخ‌کن خارج و روغن اضافی سطح آنها با کاغذ جاذب گرفته شد و پس از خنک‌شدن، داخل فویل آلومینیومی پیچیده شده و تا زمان انجام آزمایش در فریزر ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. عملیات سرخ‌کردن در ۲ تکرار صورت گرفت (Tyagi, 1996).

آزمون‌ها

مقدار رطوبت

اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده مطابق استاندارد AACC (۱۹۸۶) با خشک‌کردن نمونه‌ها در آون (مدل ID 53، ساخت شرکت ایران خودساز) در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت انجام گرفت. نمونه‌ها پس از خروج از آون داخل دسیکاتور سرد شدند و میزان رطوبت بر مبنای نگهدارندگی رطوبت[1] از رابطهٔ (۱) محاسبه گردید (Zeng *et al.*, 2010).

رابطهٔ (۱)

= نگهدارندگی رطوبت
۱۰۰ * (۱-محتوای رطوبت شاهد/محتوای رطوبت تیمارها)

درصد جذب روغن

میزان روغن طبق استاندارد AOAC (۱۹۹۰) تعیین شد. نمونه‌های خشک‌شدهٔ مورد استفاده برای اندازه‌گیری میزان رطوبت ابتدا آسیاب و سپس ۵ گرم از آنها در کارتوش قرار گرفت و درنهایت استخراج روغن با استفاده از هگزان نرمال به مدت ۴ ساعت انجام گرفت. پس از استخراج، کارتوش‌های حاوی حلال به مدت ۱ روز در زیر هود قرار گرفتند تا رطوبت و باقی‌ماندهٔ حلال تبخیر شود. درصد جذب روغن بر مبنای وزن خشک از رابطهٔ (۲) محاسبه گردید (زمانی و همکاران، ۱۳۹۰).

رابطهٔ (۲)

درصد جذب روغن=(W1−W2)/W1

در رابطهٔ (۲)، W1 و W2 به‌ترتیب وزن نمونه قبل از سوکسله‌گذاری و بعد از سوکسله‌گذاری می‌باشند.

آکریل‌آمید

آکریل‌آمید براساس روش Tarek و همکاران (۲۰۰۲) و Lehotay و همکاران (۲۰۰۶) با انجام اصلاحات لازم اندازه‌گیری شد. به‌این‌ترتیب که ۵/۶ گرم نمونه مطابق

[1] Water retention

روش Lehotay و همکاران (۲۰۰۶) آماده‌سازی شد. به‌طور خلاصه، پس از افزودن ۵۰۰ نانوگرم بر گرم متاکریل‌آمید به‌عنوان استاندارد داخلی، ۵ میلی‌لیتر هگزان و سپس به نسبت مساوی آب‌مقطر و استونیتریل به آن اضافه شد و کاملاً مخلوط شد. آنگاه ۵ گرم مخلوط سولفات سدیم بدون آب و کلریدسدیم به آن افزوده، پس از سانتریفیوژشدن به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه لایهٔ استونیتریلی به‌طور کامل جداسازی شد سپس لایهٔ استونیتریلی جمع‌آوری شده، براساس روش Tarek و همکاران (۲۰۰۲) برومه شد. بدین‌منظور از پتاسیم بروماید، اسیدهیدروبرومیک و آب برم اشباع استفاده شد. محلول حاصله به مدت ۱ شب در یخچال با دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس برم اضافی با افزودن مقدار لازم تیوسولفات سدیم ۰/۷ مولار (چندقطره) بی‌رنگ شده و پس از افزودن سولفات سدیم، محلول حاصله توسط ۶۵ میلی‌لیتر اتیل‌استات، طی ۲ مرحله استخراج شد. فاز آلی حاصل پس از آب‌گیری توسط مقدار کافی سولفات سدیم، ابتدا به‌وسیلهٔ دستگاه تبخیرکنندهٔ چرخشی تحت‌خلأ تبخیر شد، سپس تحت گاز ازت تا حجم ۲۵۰ میکرولیتر تغلیظ شد.

نمونهٔ آمادهٔ تزریق تا زمان آنالیز در فریزر نگهداری شد. تعیین مقدار آکریل‌آمید توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی Varian مدل ۳۸۰۰ مجهز به آشکارساز طیف‌سنج جرمی Varia (مدل ۱۲۰۰، ساخت هلند) انجام شد. برای این منظور از ستون مویین (Hp5) به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

آزمایش‌ها براساس طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی انجام شد. میانگین‌ها با نرم‌افزار آماری مینی‌تب ۱۶، نسخهٔ سال ۲۰۱۳ صورت پذیرفت و مقایسهٔ میانگین‌ها براساس آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه گردید. نمودارها با نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 ترسیم گردیدند. کلیهٔ آزمایش‌ها در ۲ تکرار انجام شد.

بحث و نتایج

رطوبت

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از اثر معنی‌دار سرخ‌کردن در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر رطوبت و درصد نگهدارندگی رطوبت برش‌های سیب‌زمینی بود ($P<0/05$). جدول (۲) رطوبت و درصد نگهدارندگی آن را در برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. نتایج مقایسهٔ میانگین حاکی از افزایش معنی‌دار رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در محیط‌های سرخ‌کردن حاوی روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در مقایسه با روغن سرخ‌کردنی فاقد آن بود ($P<0/05$). نتایج نشان داد که تأثیر اختلاط مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد در افزایش رطوبت برش‌های سیب‌زمینی بیش از خود روغن‌کنجد بود و افزایش غلظت آنها با افزایش بیشتر رطوبت همراه بود. ازآنجایی‌که مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌ها عمدتاً شامل ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشند، به‌نظر می‌رسد علت افزایش رطوبت به حضور این ترکیبات در روغن مربوط باشد. این نتیجه در مورد خود روغن‌کنجد هم صادق بود اما باتوجه‌به اینکه مواد صابونی‌ناشونده از لحاظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دارای خلوص بالاتری می‌باشند، در غلظت بسیار کمتر، تأثیر آنها شدیدتر از خود روغن می‌باشد. طی سرخ‌کردن در حرارت اولیه، نمونه هیچ تبخیر رطوبتی را از خود نشان نمی‌دهد. ازدست‌دادن ناگهانی رطوبت به علت وجود حباب‌های هوا در محیط است که سبب ترک‌خوردگی و درنتیجه خروج سریع آب از محصول می‌باشد، این می‌تواند به علت فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن‌کنجد در برابر اکسایش روغن سرخ‌کردنی باشد که مانع از تولید حباب‌های هوا که به ترک‌خوردن محصول و خروج رطوبت منجر می‌شود، می‌گردد (Quasem *et al.*, 2009).

براساس برخی از پژوهش‌ها اسیدهای چرب غیراشباع و لستین موجود در روغن‌کنجد باعث کاهش میزان جذب روغن می‌شوند و با ایجاد پوسته‌ای در

سطح مادهٔ غذایی باعث ممانعت از ورود روغن و خروج رطوبت به مادهٔ غذایی می‌شوند (Barrera-Arellano *et al.*, 1991).

میزان رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در در حضور ۲ درصد روغن‌کنجد و ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن به‌ترتیب ۱۵/۷ و ۳۰/۸ درصد بیش از نمونهٔ شاهد بود. نتایج فوق در مورد درصد نگهدارندگی رطوبت نیز صادق بود. بدین‌معنی که حضور روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در محیط سرخ‌کردن منجربه‌افزایش معنی‌دار درصد نگهدارندگی رطوبت شد (P<۰/۰۵) که مؤید نتایج فوق است.

جدول ۲ - اثر روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر رطوبت، درصد نگهدارندگی* و جذب روغن در برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در مقایسه با شاهد

محیط سرخ‌کردن	غلظت (درصد)	درصد رطوبت	درصد نگهدارندگی رطوبت	درصد جذب روغن
روغن سرخ‌کردنی	-	۳۸/۳۴±۰/۷۹^{C}	-۱۶/۳۲±۱/۷۳^{C}	۲۷/۲± ۲/۲۶^{a}
روغن سرخ‌کردنی+روغن کنجد	۱	۴۰/۶۵±۰/۱۱^{b}	-۱۱/۲۸±۰/۲۴^{b}	۲۳/۳±۰/۱۴^{ab}
	۲	۴۳/۹۲±۰/۲۷^{a}	-۴/۱۴±۰/۵۹^{a}	۱۵/۳±۳/۱۲^{b}
روغن سرخ‌کردنی+مواد صابونی ناشوندهٔ روغن‌کنجد	۰/۰۲	۵۶/۹۵±۱/۵۶^{b}	۲۴/۲۸±۳/۴۰^{b}	۱۸/۵ ±۰/۱۴^{b}
	۰/۰۴	۶۲/۳۸±۰/۶۲^{a}	۳۶/۱۵±۱/۳۶^{a}	۱۴/۷ ±۰/۱۴^{b}

* میانگین ± انحراف معیار

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد (P<۰/۰۵).

نتایج موسویان و همکاران (۱۳۹۱) نیز بیانگر این مطلب بود که افزودن روغن مغز بنه یا مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن به روغن کانولای بدون آنتی‌اکسیدان و سرخ‌کردن برش‌های سیب‌زمینی در این محیط با افزایش قابل توجه رطوبت در آنها همراه بود که در توافق با نتایج پژوهش حاضر بود. این محققین بیشترین میزان رطوبت (۳۲/۶۱ گرم بر گرم وزن مرطوب) را در نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در روغن کانولای حاوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ مغز بنه گزارش کردند.

جذب روغن

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در محیط سرخ‌کردن بر میزان جذب روغن در برش‌های سیب‌زمینی بود (P<۰/۰۵). جدول (۲) درصد جذب روغن را در برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. نتایج مقایسهٔ میانگین حاکی از کاهش معنی‌دار جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در محیط‌های سرخ‌کردن حاوی روغن‌کنجد و مواد صابونی ناشوندهٔ آن در مقایسه با روغن سرخ‌کردنی فاقد آن بود (P<۰/۰۵). افزایش درصد روغن‌کنجد اضافه‌شده به روغن سرخ‌کردنی با کاهش معنی‌دار میزان جذب روغن در مقایسه با نمونهٔ شاهد همراه بود (P<۰/۰۵). برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در حضور ۲ درصد روغن‌کنجد جذب روغن را نسبت به نمونهٔ شاهد سیب‌زمینی سرخ‌شده حدود ۴۳/۷۵ درصد کاهش داد. محصولاتی که بر اثر تجزیهٔ روغن حاصل می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا) باعث افزایش گرانروی روغن و کاهش کشش سطحی روغن و مادهٔ غذایی می‌شوند که درنتیجهٔ آن، روغن به‌راحتی جذب سطح مادهٔ غذایی می‌گردد (Dobarganes *et al.*, 2000). روغن‌کنجد به‌دلیل حضور آنتی‌اکسیدان‌های قدرتمند و منحصربه‌فرد ترکیبات لیگنینی مانند سزامین و سزامولین از پایداری حرارتی بالاتری نسبت به سایر روغن‌های گیاهی برخوردار است (kamal *et al.*, 1995). ازاین‌رو، افزودن روغن‌کنجد به روغن سرخ‌کردنی با بهبود پایداری اکسایشی آن، باعث افزایش کشش سطحی و درنتیجه کاهش جذب روغن شد. این یافته با نتایج سایر محققین (Troncoso & Pedreschi, 2009؛ شرایعی و همکاران، ۱۳۸۹ و موسویان و همکاران، ۱۳۹۱) مطابقت داشت.

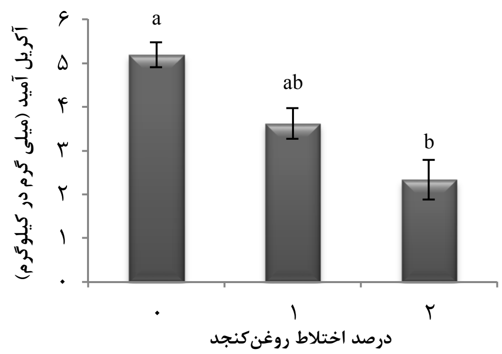
نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از این بود که افزودن مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد به روغن سرخ‌کردنی بر میزان جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی تأثیرگذار بود ($P<0/05$). جدول (۲) اثر مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد بر میزان جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن نشان می‌دهد. افزودن مقدار ۰/۰۲ درصد و ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد به روغن سرخ‌کردنی به‌ترتیب با ۳۱/۹ و ۴۵/۹ درصد کاهش در میزان جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی همراه بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده تأثیر مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد در کاهش جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی بیش از خود روغن‌کنجد بود. این نتایج با پژوهش موسویان و همکاران (۱۳۹۱) در یک راستا بود. آنها مشاهده کردند که افزودن مواد صابونی‌ناشونده به روغن کانولا منجربه‌کاهش بیشتری در جذب روغن نمونه‌های سیب‌زمینی شد. که مؤید افزایش پایداری روغن کانولا و خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ مغز بنه می‌باشد.

این امر را می‌توان به بهبود پایداری اکسایشی روغن سرخ‌کردنی ازطریق اضافه‌کردن روغن‌کنجد و حضور آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و قدرتمند روغن‌کنجد در مخلوط با روغن سرخ‌کردنی نسبت داد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین مشخص شده است محصولاتی که بر اثر تجزیهٔ روغن حاصل می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا) باعث افزایش گرانروی روغن و کاهش کشش سطحی روغن و مادهٔ غذایی می‌شوند که درنتیجهٔ آن، روغن به‌راحتی جذب سطح مادهٔ غذایی می‌گردد (Dobarganes *et al.*, 2000). براین‌اساس حضور آنتی‌اکسیدان‌های روغن‌کنجد در محیط با مهار رادیکال‌ها و ممانعت از اکسایش مانع تجزیهٔ روغن شده و درنتیجه بر کاهش جذب روغن اثر مثبت می‌گذارند. نتایج شرایعی و همکاران (۱۳۸۹) نیز بیانگر این مطلب بود که کارایی مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه در جلوگیری از تشکیل تری‌گلیسریدهای دیمری و پلیمری بیش از TBHQ بود.

آکریل‌آمید

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن در محیط سرخ‌کردن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید در برش‌های سیب‌زمینی بود ($P<0/05$). نتایج بیانگر این مطلب بود که با افزایش درصد اختلاط روغن‌کنجد با روغن سرخ‌کردنی مقدار آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی (شکل ۱) به طور معنی‌دار کاهش یافت ($P<0/05$). میزان تشکیل آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در حضور ۱ و ۲ درصد روغن‌کنجد به‌ترتیب ۳۰ و ۵۵ درصد کمتر از نمونهٔ شاهد بود. این نتایج با پژوهش بختیاری و همکاران (۲۰۱۳) در یک راستا بود. آنها با استفاده از سرخ‌کردن سیب‌زمینی در روغن‌کنجد و پالم و مخلوطی از هر دو به کاهش محتوای آکریل‌آمید رسیدند و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که روغن‌کنجد به‌خاطر داشتن آنتی‌اکسیدان‌های قوی، تشکیل آکریل‌آمید را در سطح معنی‌داری حدود ۸۶۰ بخش در بیلیون کاهش داد. Keramat و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند روغن‌زیتون بکر به علت دارابودن ترکیبات فنلی موجب کاهش تشکیل آکریل‌آمید چیپس سیب‌زمینی شد. علاوه‌بر این روغن زیتونی که غلظت بیشتری از ترکیب ارتودی‌فنلی را داشت قادر به مهار بیشتر تشکیل آکریل‌آمید بود.

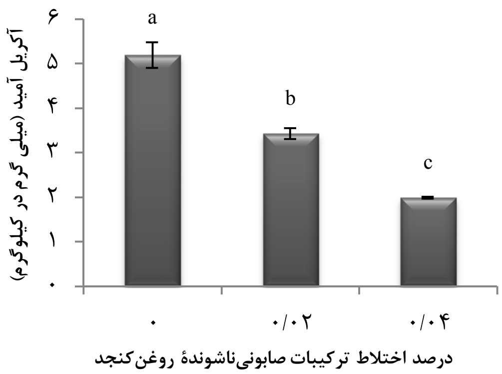
نتایج به‌خوبی نشان می‌دهدکه مکانیسم عمل کاهش آکریل‌آمید در نمونه‌ها به ۲ صورت بود؛ اول اینکه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در کنجد توانایی بلوکه‌کردن واکنش‌های زنجیره‌ای خوداکسایشی چربی‌ها، رادیکال‌های آزاد و شلاته‌کردن فلزات مؤثر در اکسایش چربی‌ها را دارا می‌باشند که به متوقف‌کردن فرایند اکسایش آکرولئین و درنتیجه کاهش ایجاد آکریل‌آمید منجر می‌شود. قابل ذکر است که تولید آکرولئین از تجزیهٔ لیپیدها آغاز گشته و اکسایش اسیدهای چرب را توسعه می‌دهد. این ترکیبات با ترکیبات نیتریتی واکنش داده و موجب بلوکه‌کردن آنها و جلوگیری از شرکت آنها در فرایندهای منجربه تشکیل آکریل‌آمید یا ترکیبات واسطه مؤثر می‌گردند (متقی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۱- اثر اختلاط روغن‌کنجد با روغن سرخ‌کردنی بر تشکیل آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

حروف غیرمشترک بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P<۰/۰۵$). تیرک‌های بالای ستون نشان‌دهندهٔ انحراف معیار نمونه‌ها می‌باشند.

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از این بود که اختلاط مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد با روغن سرخ‌کردنی بر میزان آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی تأثیرگذار بود ($P<۰/۰۵$). سرخ‌کردن برش‌های سیب‌زمینی در مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد به کاهش معنی‌دار مقدار آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی در مقایسه با نمونهٔ شاهد (شکل ۲) منجر شد ($P<۰/۰۵$). نتایج مؤید این مطلب بود که افزایش پایداری روغن سرخ‌کردنی ازطریق افزودن مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد با کاهش چشمگیر مقدار آکریل‌آمید در برش‌های سیب‌زمینی به‌ترتیب ۳۴ و۶۱ درصد همراه بود. روغن دانهٔ کنجد به‌دلیل داشتن آنتی‌اکسیدان‌های بسیار قوی و پایدار مانند سزامین، سزامولین و سزامول نسبت به اکسایش بسیار قوی و پایدار است. همچنین به‌دلیل داشتن اسیدلینولئیک به عطروطعم مخلوط روغن‌ها کمک می‌کند (Abdulkarim *et al*., 2010). باتوجه‌به این واقعیت که تشکیل آکریل‌آمید در روغن به‌دلیل واکنش ترکیبات کربونیل مشتق‌شده از محصولات اکسایش روغن با آسپارژین آزاد در نمونه است (Capuano *et al*., 2010). بنابراین، علت کاهش تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی به‌خاطر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات منحصربه‌فرد و قدرتمند لیگنین روغن‌کنجد و همچنین آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند سزامول، سزامولین و سزامینول است که به کاهش واکنش ایجاد آکرولئین و درنتیجه تشکیل آکریل‌آمید منتهی شده است.



شکل ۲- اثر اختلاط ترکیبات صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد با روغن سرخ‌کردنی بر آکریل‌آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

حروف غیرمشترک بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P<۰/۰۵$). تیرک‌های بالای ستون نشان‌دهندهٔ انحراف معیار نمونه‌ها می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که روغن‌کنجد از دیدگاه ساختار اسید چربی دارای پایداری اکسایشی بالایی می‌باشد. نتایج نشان داد قدرت مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد در ممانعت از تشکیل آکریل‌آمید در برش‌های سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن در دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش از روغن‌کنجد بود. علاوه‌بر این بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن‌کنجد در غلظت ۰/۰۴ درصد ظاهر شد. نمونه‌هایی که در روغن سرخ‌کردنی حاوی روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن سرخ شدند، بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان جذب روغن و آکریل‌آمید را دارا بودند. کمترین میزان آکریل‌آمید مربوط به برش‌های سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی حاوی مواد صابونی‌ناشوندهٔ ۰/۰۴ درصد بود که میزان آکریل‌آمید را در حدود ۶۱ درصد نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش داد. همچنین بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان جذب روغن مربوط به برش‌های سرخ‌شده در روغن سرخ‌کردنی حاوی ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشونده بود که ۳۰/۸ درصد میزان رطوبت را نسبت به نمونهٔ شاهد افزایش و ۴۵/۸ درصد میزان جذب روغن را نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش داد.

منابع

۱- زمانی قلعه شاهی، ع.، فرهوش، ر. و رضوی، م.ع. ۱۳۹۱. ارزیابی اثر صمغ‌های دانهٔ ریحان، متیل‌سلولز و گزانتان بر میزان جذب روغن در خلال‌های سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن عمیق. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- شرایعی، پ. ۱۳۸۹. اثر روغن مغز پستهٔ وحشی و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر پایداری روغن‌های کانولا، پالم اولئین، زیتون و اثر نوع روغن و فرایندهای مقدماتی بر میزان جذب روغن سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق. رساله دکترای دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- توسلی‌کفرانی، م. و فرهوش، ر. ۱۳۸۹. بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی روغن پوست پستهٔ وحشی (Pistaciaatlantica subsp. mutica) و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- متقی، م.، اردبیلی، م.، هنرور، م.، مهربانی، م. و باقی‌زاده، ا. ۱۳۹۱. تعیین آکریل‌آمید در نان‌های مسطح سنتی شهرستان کرمان به روش LC/DAD و مطالعهٔ تأثیر عصارهٔ رزماری بر تشکیل آن. مجلهٔ نوآوری در علوم و فنّاوری غذایی، ۴(۴): ۱۶-۷.

۵- محمدی، ت.، حاتمی، م.، میرزائی سیس‌آبادی، ی.، هوشیاری، ع. و نجاتیان، م. ۱۳۹۳. فرمولاسیون روغن‌مایع مخلوط حاوی روغن‌های کانولا و کنجد بدون آنتی‌اکسیدان سنتزی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۹(۳): ۹۲-۸۳.

۶- مرزبانی، م. و صادقی، ر. ۱۳۸۹، مروری بر تشکیل آکریل‌آمید در مواد غذایی حرارت‌دیده و اثرات مخرب آن بر سلامت انسان. همایش منطقه‌ای یافته‌های نوین شیمی و مهندسی شیمی، ۹-۷ آبان ماه، کرمانشاه.

۷- موسویان، د.، نیازمند، ر. و شرایعی، پ. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر فرایندهای مقدماتی روغن مغز بنه و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن بر میزان آکریل‌آمید سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق. پایان‌نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد دامغان.

8- Abdulkarim, S.M., Myat, M.W., & Ghazali, H.M. 2010. Sensory and Physicochemical qualities of palm olein and sesame seed oil blends during frying of banana chips. Journal of Agricultural Science, 2(4):18-29.

9- Amrein, T.M., Schönbächler, B., Rohner. F., Lukac, H., Schneider, H., Keiser A., Escher, F., & Amado, R. 2004. Potential for acrylamide formation in potatoes: data from the 2003 harvest. European Food Research and Technology, 219(6):572-578.

10-Amrein, T.M., Bachmann, S., Noti, A., Biedermann, M., Barbosa, M.F., Biedermann-Brem S., Grob, K.,Keiser, A., Realini, P.,Escher, F.,& Amado, R. 2003. Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(18):5556-5560.

11-Barrera-Arellano, D., Ruiz-Mendez, V., Velasco, J., Marquez-Ruiz, G., & Dobarganes, C. 1999. Loss of tocopherols and formation of degradation compounds in triacylglycerol model systems heated at high temperature. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79(13):1923-1928.

12-Budowski, P., & Markely, K.S. 1951. The chemical and physiological properties of sesame oil. Chemical. Reviews, 48(2): 125-151.

13-Capuano, E., Olivero, T., Acar, O.C., Gokmen, V., & Fogliano, V. 2010. Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat- rich model systems. Food Research International, 43(4):1021-1026.

14-Delgado-Andrade, C., Seiquer, I., & Navarro, P. 2004. Bioavailability of iron from a heat treated glucose-lysine model food system: Assays in rats and in Caco-2 cells. Journal of the Science of Food and Agriculture, 84:1507-1513.

15-Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G., & Velasco, G. 2000. Interactions between fat and food during deep-frying. European Journal of Lipid Science and Technology, 102(8-9):521-528.

16-Farhoosh, R., EsmaeilzadehKenari, R., & Poorazrang, H. 2009. Frying Stability of Canola Oil Blended with Palm Olein, Olive, and Corn Oils. Journal of the American Oil Chemists' Society. 86(1):71-76.

17-Fukuda, Y., Nagata, M., Osawa, T., & Namiki, M. 1986. Contribution of lignin analogues to antioxidative activity of refined unroasted sesame seed oil. Journal of American Oil Chemist' Society, 63, 1027-1031.

18-Gunstone F.D. 2002. Vegetable Oil in Food Technology. P. 337. CRC Press, Boca Raton, USA.

19-Hedegaard, R.V., Granby, k., Frandsen, H., Thygesen, J., & Skibsted, L.H. 2008. Acrylamide in bread. EVect of prooxidants and antioxidants. European Food Research and Technology, 227:519-525.

20-Hwang, L.S. 2005. Sesame Oil. Baileys industrial oil and fat product. Taipei, Taiwan, University.

21-Innawong, B., Mallikrjunan, P., & Marcy, J.E. 2004. The determination of frying oil quality using a chemosensory system. LWT-Food Science and Technology, 37(1):35-41.

22-Kamal-Eldin, A., Appelqvist, L.A., & Pettersson, D. 1995. Sesamin (acompound from sesame oil) increases tocopherol levels in rats fed ad libitum. Lipids, 30(6):499-505.

23-Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., & Jafari, M. 2011. Acrylamide in Baking Products: A Review Article. Food and Bioprocess Technology, 4(4):530-543.

24-Kochhar, S.P. 2000. Stabilisation of frying oils with natural antioxidative components. European Journal of Lipid Science and Technology, 102(8-9):552-559.

25-Lea, C.H., & Ward, R.J. 1959. Relative antioxidant activities of the seven tocopherols. Journal of The Science of Food and Agriculture, 10:537-548.

26-Lehotay, J., & Mastovska, K. 2006. Rapid sample preparation method for LC-MS/MS or GC-MS analysis of acrylamide in various food matrices. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54(19):7001-7008.

27-Lozano, Y.F., Dhuique Mayer, C., & Gaydou, E.M. 1993. Unsaponifiable matter, total sterol and tocofherolcantents of avocado oil varieties. Journal of the American Oil Chemists, 70(6):561-565.

28-Namiki, M. 1995. The chemistry and physiological functions of sesame. Food reviews international. 11(2):281-329.

29-Orthoefer, F.T., Gurkin, S., & Liu, K. 1996. Dynamics of frying. In: Deep Frying: Chemistry, Nutrition, and Practical Applications. Perkins E.G., and Erickson, M.D. AOCS Press, Champaign Illinois, USA.

30-Oua, S., Shia, J., Huanga, C., Zhanga, G., Tenga, J., Jianga, Y., & Yanga, B. 2010. Effect of antioxidants on elimination and formation of acrylamide in model reaction systems. Journal of Hazardous Materials, 182(1):863-868.

31-Quasem, J.M., Ayman Suliman Mazahreh, A.S., Khaled Abu-Alruz, K., Afaneh, I.A., Al-Muhtaseb, A.H., & Magee, T.R.A. 2009. Effect of methyl cellulose coating and pre-treatment on oil uptake, moisture retention and physical properties of deep-fat fried starchy dough system.American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 4(2):156-166.

32-Shahidi, F. 2005. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. (6th edn), John Wiley & Sons, Inc, simultaneously in Canada.

33-Stadler, R.H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P.A., Robert, A-C., & Riediker, S. 2002. Food chemistry: Acrylamide from Maillard reaction products .Nature, 419:449-450.

34-Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., & Tornqvist, M. 2002. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(17):4998-5006.

35-Troncoso, E., & Pedreschi, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. LWT- Food Science and Technology, 42(6):1164-1173.

36-Tyagi, V.K., & Vasishtha. A.K. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. Journal of the American Oil Chemists- Society, 73(4):499-506.

37-Zeng, X., Cheng, K., Yegang, D., Ricky, K., Clive, L., Ivan, K.C., Feng, C., & Mingfu, W. 2010. Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. Food Chemistry, 121(2):424-428.

38-Zhang,Y.U., & Zhang, Y.I. 2008. Effect of natural antioxidants on kinetic behavior of acrylamide formation and elimination in low-moisture asparagine–glucose model system. Journal of Food Engineering, 85(1):105-115.

Effect of Sesame Oil and its Unsaponifiable Materials on Reduction of Acrylamide in Fried Potato Slices

Zahra Keshavarz[1], Razieh Niazmand[2*], Akram Arianfar[3]

1- Msc. Graduated Student, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

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

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

3- Young Researchers and Elite Club, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

Abstract

Proper oil is one of the effective factors in the quality of fried products. The aim of this research is to reduce the acrylamide level and oil uptake of fried potato slices via antioxidant properties of Sesame oil (1 and 2% w/w concentrations) and its unsaponifiable materials (0.02, 0.04% w/w concentration) in 180 °C. The data were analyzed by completely randomized design and the means were compared by Tukey test. The results showed that increasing the Sesame oil and its unsaponifiable materials addition resulted in decreasing oil uptake and acrylamide level. The lowest acrylamide amount is associated with fried potato slices produced by frying oil with 0.04% unsaponifiable materials. In the mentioned sample the amount of acrylamide was 61% reduced ($P<0.05$). The highest humidity and lowest oil uptake were also related to the mentioned sample with 30.8% humidity increase and 45.9% decrease in oil absorption in comparison with the control sample ($P<0.05$).

Keywords: Acrylamide, Unsaponifiable Material, Oil Uptake, Potato

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۲۸-۱۳
JRIFST
مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

اثر نوع دیواره و روش ریزپوشانی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ریزکپسول‌های روغن‌ماهی

بهاره شعبانپور[1*]، بهار مهراد[2]، پرستو پورعاشوری[3]، سیدمهدی جعفری[4]

۱- استاد، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
* نویسندهٔ مسئول (b_shabanpour@yahoo.com)
۲- دانش‌آموختهٔ دکتری، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- استادیار، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

در این مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن‌ماهی ریزپوشانی‌شده با استفاده از مواد دیواره و روش‌های ریزپوشانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. روغن‌ماهی با ۳ ترکیب مختلف دیواره (ژلاتین ماهی+مالتودکسترین، کاپاکاراگینان+مالتودکسترین، ژلاتین ماهی+کاپاکاراگینان+مالتودکسترین) و به ۳ روش مختلف کوآسرواسیون، خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی برای تولید پودرهایی حاوی ۲۵ درصد روغن‌ماهی خشک گردید. برای بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پارامترهای میزان رطوبت، میزان روغن کل، میزان روغن سطحی، میزان کارایی ریزپوشانی، رنگ و مورفولوژی میکروکپسول‌ها بررسی و اندازه‌گیری شدند. نتایج بررسی فاکتورهای فیزیکوشیمیایی پودرهای تولیدی نشان می‌دهد که ژلاتین ماهی+مالتودکسترین بهترین ترکیب دیواره و روش کوآسرواسیون نیز مناسب‌ترین روش برای ریزپوشانی روغن‌ماهی بوده است. ریزپوشانی با این مواد و این روش قادر می‌باشد تا پودرهایی با کارایی ریزپوشانی بالاتر و میزان روغن سطحی پایین‌تر از سایر تیمارها تولید نماید. نتایج نشان می‌دهد که میکروکپسول‌های تولیدشده به روش کوآسرواسیون کروی‌تر و بزرگ‌تر از سایر تیمارها بودند. مقایسهٔ روش‌های خشک‌کردن پاششی، خشک‌کردن انجمادی و کوآسرواسیون تأیید می‌کند که ترکیب دیواره، درجه‌حرارت خشک‌کردن، مورفولوژی میکروکپسول و زمان فرایند در واقع مهم‌ترین فاکتورهایی هستند که روی پایداری پودر روغن‌ماهی اثر می‌گذارند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹

واژه‌های کلیدی
خشک‌کردن پاششی
روغن‌ماهی
ریزپوشانی
کوآسرواسیون
میکروکپسول

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به مقدار مصرف اسیدهای چرب امگا-۳ در رژیم غذایی روزانه افزایش یافته است. فواید سلامتی‌بخشی حاصل از مصرف ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA[1]) و دوکوزاهگزاانوئیک اسید (DHA[2]) موجود در ماهی و روغن‌ماهی، به‌خوبی شناخته‌شده است و مصرف منظم این اسیدهای چرب پیشنهاد شده است (Kolanowski *et al*., 2007; Kitessaa *et al*., 2001).

دولت‌های مختلف شهروندان خود را به مصرف این اسیدهای چرب تشویق می‌کنند (Dahm *et al*., 1999). جدیدترین پیشنهاد جامعهٔ بین‌المللی درزمینهٔ

[1] Ecosapentaenoic acid (EPA)
[2] Docosahexaenoic acid (DHA)

مطالعه‌های اسیدهای چرب، مصرف EPA و DHA، ۵۰۰ میلی‌گرم در روز می‌باشد.

این اسیدهای چرب در غذای روزانه کمتر از میزان پیشنهادی می‌باشند و این امر سبب شده است تا تولیدکنندگان در بسیاری از کشورها به‌سوی تولید غذاهای فراسودمند و عملگرا حاوی این ترکیبات گام بردارند. اثر سلامت‌بخشی روغن‌ماهی به‌خوبی شناخته‌شده است و به‌عنوان منبعی برای غنی‌سازی مواد غذایی و مکمل‌های تغذیه‌ای جهت حفظ عملکرد طبیعی مغز، کاهش احتمال ابتلا به سرطان و جلوگیری از بیماری‌های قلب و عروقی می‌باشد (پورعاشوری، ۱۳۹۵؛ AROQ, 2003).

بزرگ‌ترین مانع تکنیکی موجود در افزودن مقادیر مؤثر EPA و DHA به مواد غذایی، اکسیداسیون و ایجاد عطر و بوی ماهی، ناشی از تجزیۀ لیپید می‌باشد، که بایستی از آنها جلوگیری شود. علاوه‌برآن طعم و بوی نامطبوع روغن‌ماهی سبب کاهش و ازبین‌رفتن کیفیت محصولات خوراکی می‌گردد (Cho *et al*., 2003; Alamed *et al*., 2006; Pourashouri *et al*., 2014). یکی از روش‌های مناسب برای حفاظت از روغن‌ماهی، ریزپوشانی[1] می‌باشد (Gan *et al*., 2008; Pourashouri *et al*. 2014; Heinzelmann *et al*., 2000). ریزپوشانی فرایندی است که طی آن ذرات بسیار ریز، قطره‌ها یا حباب‌ها پوشش‌داده می‌شوند. جهت جلوگیری از تشخیص مزه با زبان یا تغییر بافت مادۀ غذایی، اندازۀ ذرات روغنی ریزپوشانی‌شده بایستی کمتر از ۱۰۰ میکرومتر باشد (Truelstrup-Hansen *et al*., 2002). ریزپوشانی اسیدهای چرب امگا-۳ در مواد دیوارۀ مناسب می‌تواند ارزش غذایی و ویژگی‌های حسی این مواد را حفظ نماید (Eratte *et al*., 2014). خشک‌کردن پاششی، کوآسرواسیون[2] و اکستروژن از تکنولوژی‌های اصلی و رایج در ریزپوشانی ترکیبات چربی‌دوست هستند (Drusch & Berg, 2008).

یکی از مهم‌ترین پارامترها در افزایش کارایی ریزپوشانی توجه به مادۀ دیواره است. طبق مطالعه‌های کارایی ریزپوشانی، مقدار پراکسید، اندازه، چگالی و میزان رطوبت میکروکپسول‌های روغن‌ماهی به میزان بسیاری تحت تأثیر ترکیب مادۀ دیواره است و مقدار مادۀ جامد، ویسکوزیته و اندازۀ ذرات نیز تحت تأثیر آن قرار دارد. ازاین‌رو، گام اصلی در ریزپوشانی ترکیبات غذایی، انتخاب ترکیب مناسب مادۀ دیواره است و از دامنۀ وسیعی از پلیمرهای طبیعی و سنتزی استفاده شده است (Pourashouri *et al*., 2014). کیتوزان، پکتین چغندرقند، کازئینات سدیم، ژلاتین، مالتودکسترین[3]، نشاسته، پروتئین آب‌پنیر، صمغ گیاهان مختلف و غیره به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیبی برای ریزپوشانی روغن‌ماهی استفاده شده‌اند (Kagami *et al*., 2003; Kolanowski *et al*., 2006; Shen *et al*., 2010; Bao *et al*., 2011).

علی‌رغم مطالعه‌های مختلف که روی ترکیبات مختلف مادۀ دیواره و روش‌های مختلف ریزپوشانی شده است؛ مطالعه‌های اندکی روی استفاده از کاراگینان[4] در ریزپوشانی روغن‌ماهی انجام شده است. بیشتر مطالعه‌ها، از کاراگینان در ریزپوشانی پروبیوتیک‌ها استفاده نموده‌اند و این ریزپوشانی سبب بهبود پایداری پروبیوتیک‌ها گردید (Shi *et al*., 2013). در مطالعه‌ای دیگر از کاراگینان به‌عنوان دیواره در ریزپوشانی رایحه استفاده گردید و مشخص شد که این دیواره پتانسیل ریزپوشانی رایحه و استفاده از آن در فرمولاسیون‌های غذایی را داراست (Hambleton *et al*., 2009). مطالعه‌ای روی ترکیب کاراگینان و ژلاتین ماهی صورت نگرفته است. این دو ترکیب دیواره با منشأ دریایی برای ریزپوشانی روغن‌ماهی انتخاب گردیدند. در این تحقیق علاوه‌بر مطالعه روی مادۀ دیواره، ۳ روش مختلف ریزپوشانی (خشک‌کردن پاششی، خشک‌کردن انجمادی و کوآسرواسیون) نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. تأثیر استفاده از مواد مختلف دیواره و روش‌های ریزپوشانی با سنجش ویژگی‌های پودرهای تولیدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده

روغن‌ماهی منهادن[5]، κ-کاراگینان، ژلاتین (از پوست

[1] Encapsulation
[2] Coacervation
[3] Maltodextrin
[4] Carrageenan
[5] Fish Oil from Menhaden

ماهیان سردآبی)، انیسیدین[1]، پپسین، محلول گلوتارآلدهید[2] (۲۵ درصد) و پلی‌وینیل‌الکل (وزن مولکولی: ۵۰-۳۱ کیلودالتون) از شرکت سیگما-آلدریچ[3] تهیه شدند. مالتودکسترین از شرکت مواد شیمیایی پاسارگاد و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در تمامی آزمایش‌ها با درجهٔ آزمایشگاهی از شرکت‌های مرک[4]، اپلیکم[5] و فلوکا[6] خریداری گردیدند. در تمامی محلول‌ها از آب‌مقطر دوبار تقطیر استفاده شد.

مراحل تولید میکروکپسول‌ها

تهیهٔ امولسیون‌ها

محلول‌هایی از پودرهای مواد دیواره (جدول ۱) در آب‌مقطر تهیه شدند. این محلول‌ها ۱ روز قبل از تهیهٔ امولسیون تولید و در طی شب در بن‌ماری شیکردار (Memmert GmbH، Schwabach، ساخت آلمان) قرار گرفتند، تا از آب‌گیری کامل مواد و حل‌شدن کامل آنها اطمینان حاصل شود. درصد کل مواد جامد محلول ۴۰ درصد وزنی/حجمی برای تمامی امولسیون‌ها انتخاب شد. فرمولاسیون نهایی تیمارهای مختلف پس از طی آزمایش‌های اولیه (پایداری کرمی امولسیون) جهت تعیین نسبت بهینهٔ مواد دیواره و رسیدن به بهترین درصدها برای هر تیمار مشخص گردید. امولسیون‌های روغن در آب در طی ۲ مرحله تهیه شدند. در ابتدا مواد هسته با نسبت بیان‌شده به‌صورت تدریجی به مواد دیواره اضافه و مخلوط شده و به‌مدت ۱۰ دقیقه هم‌زده شدند. در مرحلهٔ بعد امولسیون‌ها به کمک هموژنایزر اولتراتوراکس (Ultraturrax IKA T25، ساخت آلمان)، به‌مدت ۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور با یکدیگر کاملاً هموژن‌شده تا امولسیونی یک‌دست حاصل شود. در ادامهٔ آزمایش‌ها بررسی پایداری امولسیون‌ها انجام شده و پس از آن امولسیون‌ها جهت خشک‌شدن به روش خشک‌کردن انجمادی و خشک‌کردن پاششی آماده گردیدند (Pourashouri *et al.*, 2014).

خشک‌کردن انجمادی امولسیون‌ها

امولسیون‌های تهیه‌شده ابتدا به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد منجمد شده و پس از آن در خشک‌کن انجمادی (Alpha 1-2 LD Plus, Christ، ساخت آلمان) در فشار تقلیل‌یافته خشک گردیدند. فرایند خشک‌شدن امولسیون‌های منجمد در خشک‌کن انجمادی ۴۵ ساعت به طول انجامید. توده‌های اسفنجی حاصل با استفاده از یک هاون چینی به پودر یکنواختی تبدیل شدند. این پودرها سپس در ظروف مخصوص و کاملاً دربسته در فریزر ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری گردیدند تا آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی لازم روی آنها به عمل آید.

خشک‌کردن پاششی امولسیون‌ها

شرایط عملیاتی خشک‌کن پاششی (Labmaq do Brasil، Ribeirão Preto، model MSD 1.0، ساخت برزیل)، پس از آزمایش‌های اولیه و انجام پیش‌تیمار و رسیدن به شرایط بهینه تنظیم گردید (دمای ورودی ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد و درجه‌حرارت خروجی ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد). درنهایت نیز پودرهای تولیدی در ظروف مخصوص و کاملاً دربسته در فریزر با دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری گردیدند تا آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی لازم روی آنها به عمل آید (Pourashouri *et al.*, 2014).

خشک‌کردن امولسیون‌ها به روش کوآسرواسیون

ابتدا روغن‌ماهی در محلول پلی‌وینیل‌الکل با استفاده از همزن مغناطیسی حل شد. سپس این مخلوط به محلول کاپاکاراگینان و ژلاتین اضافه گردید. از پلی‌وینیل‌الکل به‌عنوان حلال و افزایش‌دهندهٔ قدرت یونی استفاده شد (Versic, 2003). در این مرحله، pH حدود ۵-۴/۵ بود. در حین فرایند مخلوط‌کردن، قدرت یونی مخلوط توسط نمک طعام با غلظت ۰/۱ مولار تنظیم گردید. زیرا افزودن نمک به میزان زیاد فرایند ریزپوشانی را متوقف می‌کند (Dong *et al.*, 2007;2008). در مرحلهٔ بعد برای مستحکم‌سازی

[1] p-Anisidine
[2] Glutaraldehyde
[3] Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO)
[4] Merck (Darmstadt)
[5] Applichem
[6] Fluka

دیوارهٔ میکروکپسول‌ها از گلوتارآلدئید استفاده شد (Drusch *et al*., 2008). در انتهای کوآسرواسیون نمونه‌ها خشک شدند.

جدول ۱- تیمارهای آزمایشی جهت ریزپوشانی روغن‌ماهی با استفاده از کاراگینان و ژلاتین ماهی

تیمار	ترکیب دیواره				هسته
	FG	κc	مالتودکسترین (MD)	لستین سویا	روغن‌ماهی منهادن
ژلاتین ماهی (FG)	۷/۵	-	۳۲/۵	-	
کاپاکاراگینان (κc)	-	۱	۳۸/۵	۰/۵	۱۰
ژلاتین ماهی- کاپاکاراگینان	۷/۵	۱	۳۱/۵	۰/۵	

اندازه‌گیری شاخص کرمی‌شدن

۱۰ گرم از هر امولسیون درون یک لولهٔ آزمایش (قطر درونی=۱۵ میلی‌متر و ارتفاع=۱۲۵ میلی‌متر) انتقال داده شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. بعد از نگهداری، امولسیون‌ها به‌صورت چشمی به امولسیون‌های با «لایهٔ کرمی[1]» کدر و غیرشفاف در بالا و «لایهٔ سرمی[2]» شفاف (یا کدر) در پایین لولهٔ آزمایش تفکیک شدند. ارتفاع کلی امولسیون‌ها و ارتفاع لایهٔ کرمی اندازه‌گیری شدند. درصد این شاخص طبق رابطهٔ (۱) محاسبه گردید. تمام اندازه‌گیری‌ها حداقل روی ۳ نمونهٔ تازه تهیه‌شده انجام گرفت (Pourashouri *et al.*, 2014).

رابطهٔ (۱)

$$\text{شاخص شدن کرمی} = \frac{\text{ارتفاع لایهٔ کرمی} \times ۱۰۰}{\text{ارتفاع کلی امولسیون}}$$

اندازه‌گیری رطوبت

مقدار رطوبت میکروکپسول‌ها ازطریق تفاوت وزن ۲-۱ گرم پودر پس از خشک‌کردن به‌مدت ۱۶ ساعت در آون ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد محاسبه گردید. نتایج به‌صورت میزان رطوبت در ۱۰۰ گرم پودر گزارش گردید (Zhong *et al*., 2009).

اندازه‌گیری روغن سطحی[3]

۱۵ میلی‌لیتر n- هگزان[4] به ۲/۵ گرم پودر اضافه شد و به‌مدت ۲ دقیقه مخلوط گردید. این مخلوط ۲۰ دقیقه در ۸۰۰۰ دور (۱۲۳۷۸×گرم) سانتریفیوژ (Centrifuge 5810R، Eppendorf، Hamburg، ساخت آلمان) گردید. پس از عبور نمونه از کاغذ صافی و ۲ بار شست‌وشو با n- هگزان، حلال در روتاری (RE 111 Rotavapor، Type KRvr TD 65.45، BUCHI، ساخت سوئیس) با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد تبخیر گردید. عصارهٔ عاری از حلال در ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شده و میزان روغن سطحی پودرها محاسبه گردید (Klinkesorn *et al*., 2006).

اندازه‌گیری روغن کل[5]

۲ میلی‌لیتر بافر استات (pH=۳) به ۰/۵ گرم پودر اضافه شده و به‌مدت ۱ دقیقه با استفاده از ورتکس (IKA Vortex Shaker، ساخت آلمان) مخلوط گردیدند. محلول حاصل با ۲۵ میلی‌لیتر از مخلوط n- هگزان (۳) /ایزوپروپانل (۱) استخراج شد و لوله‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و فاز آلی شفاف جمع‌آوری گردید و فاز آبی مجدداً با مخلوط حلال استخراج شد. پس از فیلتراسیون و عبور از سولفات سدیم خشک، حلال در روتاری تبخیر شد و عصارهٔ عاری از حلال در ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شد و روغن کل محاسبه گردید (Klinkesorn *et al*., 2006).

اندازه‌گیری کارایی ریزپوشانی[6]

مقدار کارایی ریزپوشانی به کمک مقدار روغن کل و

[1] Cream layer
[2] Serum layer
[3] Surface Oil
[4] Hexane
[5] Total Oil
[6] Encapsulation Efficiency

روغن سطحی طبق رابطهٔ (۲) محاسبه گردید (Klinkesorn *et al*., 2006).

رابطهٔ (۲)

$$\text{کارایی ریزپوشانی} = \frac{\text{روغن ریزپوشانی شده (گرم در ۱۰۰ گرم پودر)} \times ۱۰۰}{\text{روغن کل (گرم در ۱۰۰ گرم پودر)}}$$

اندازه‌گیری رنگ میکروکپسول‌ها

برای اندازه‌گیری رنگ میکروکپسول‌ها، مقداری از پودرها درون ظرفی قرار گرفت و سپس میزان رنگ با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Lovibond CAM-System 500، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد و ۳ فاکتور L^* a^* و b^* در هر نمونه اندازه‌گیری گردید. L^* نشانگر روشنی میکروکپسول‌ها و a^* و b^* نشان‌دهندهٔ رنگ میکروکپسول‌ها می‌باشند ($-a^*$ = سبزی، $+a^*$ = قرمزی، $-b^*$ = آبی‌رنگ و $+b^*$ = زردی) (Takeungwongtrakul & Benjakul, 2016).

بررسی مورفولوژی میکروکپسول‌ها

ریزساختار و مورفولوژی سطحی میکروکپسول‌های تولیدی به‌وسیلهٔ میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] (LEO 1455VP، Cambridge، ساخت انگلستان) بررسی شد. نمونه‌ها روی استاب‌های[2] آلومینیومی دستگاه ثابت شده و سپس با استفاده از طلا (۴۰):پالادیوم (۶۰) پوشانده شدند. جهت بررسی سطوح خارجی میکروکپسول‌ها و بررسی شکل و ویژگی‌های سطحی (شکستگی، فرورفتگی، چین‌خوردگی و غیره) از سطح آنها تصویر تهیه گردید.

اندازه‌گیری سایز ذرات

۰/۰۱ گرم میکروکپسول با ۰/۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر در دمای اتاق ترکیب شد و سپس اندازهٔ ذرات به کمک دستگاه زتا سایزر (Malvern Instruments Ltd، Worcestershire، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری گردید.

آنالیز آماری

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد. معنی‌داربودن نتایج حاصل از بررسی فاکتورهای مختلف پودرهای تولیدی در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون دانکن در سطح ($P<۰/۰۵$) بررسی شدند. در تمامی موارد آنالیز روی ۳ تکرار برای هر تیمار انجام گرفت.

[1] Scanning electron microscope
[2] Stub

نتایج و بحث

شاخص کرمی‌شدن

یکی از عواملی که بر کارایی ریزپوشانی روغن و مواد طعم‌دهنده تأثیر می‌گذارد و سبب ثبات بهتر و کارایی بالاتر می‌گردد، پایداری امولسیون است. امولسیون‌های ناپایدار توانایی اندکی در حفظ و نگهداری مواد دارند. کرمی‌شدن نشانهٔ اولیهٔ عدم پایداری امولسیون‌های روغن در آب می‌باشد و منجربه دو فازشدن امولسیون می‌شود. فاز سرم پایینی کاملاً شفاف و متمایز و یا نیمه‌شفاف و لایهٔ دیگر کرمی می‌باشد. این پدیده با هم‌پیوستگی[3] ذرات روغن به یکدیگر در فاز کرم ادامه یافته و سبب ایجاد لایهٔ روغنی بر سطح نمونه می‌گردد (Dickinson, 2003; Hall, 1996). بررسی پایداری امولسیون‌های تولیدی به کمک شاخص کرمی‌شدن صورت گرفت. نسبت‌های مورد مطالعه در ترکیب دیواره‌ها دارای کم‌ترین مقدار شاخص کرمی‌شدن، یعنی صفر درصد بودند. در این تحقیق هیچ نوع جدایی فاز و کرمی‌شدنی در طی نگهداری مشاهده نگردید که نشان‌دهندهٔ پایداری امولسیون‌های تولیدشده بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که امولسیون‌ها در برابر انبوهش[4]، لخته‌شدن[5] یا انعقاد[6] پایدار می‌باشند که با نتایج مطالعه‌های دیگر نیز هم‌راستا بود (McClements, 2005).

رطوبت میکروکپسول‌ها

یکی از فاکتورهای مهم که در پایداری پودرهای ریزپوشانی‌شده نقش تعیین‌کننده دارد مقدار رطوبت است، زیرا مقدار بالای رطوبت سبب به‌هم‌چسبندگی[7]

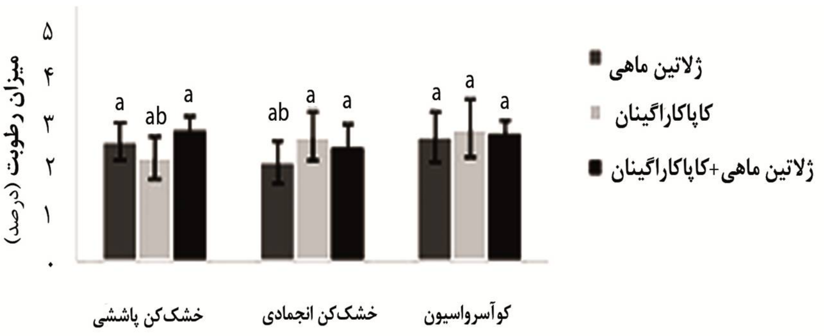
[3] Coalescence
[4] Aggregation
[5] Flocculation
[6] Coalescence
[7] Caking, Agglomeration

ذرات، تسریع رشد میکروبی و اکسیداسیون می‌گردد. میزان استاندارد صنایع غذایی در مورد رطوبت در پودرهای خشک ۴-۳ درصد می‌باشد (Masters, 1991; Baik *et al*., 2004; Klinkesorn *et al*., 2006; Lim *et al*., 2011).

پودرهای ریزپوشانی‌شده به روش خشک‌کن انجمادی دارای کم‌ترین میزان رطوبت و به‌ترتیب برای دیوارهٔ ژلاتین ماهی، دیوارهٔ ترکیبی و کاپاکاراگینان در حدود ۲/۱۳، ۲/۴۸ و ۲/۷ درصد بودند. بیشترین میزان رطوبت نیز در میکروکپسول‌های تولیدی به روش شیمیایی کوآسرواسیون مشاهده شده است. اما در کل تفاوت معنی‌داری بین میزان رطوبت در میان تیمارها مشاهده نگردید (شکل ۱).

در تحقیق Swetank و همکاران (۲۰۱۵) نیز میزان رطوبت در پودرهای تولیدی به روش خشک‌کن پاششی کمی بیشتر از تیمارهای خشک‌کن انجمادی بوده است، که با نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش اخیر هم‌راستا می‌باشد. Anandharamakrishnan و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که تشکیل سریع پوسته در طی خشک‌کردن پاششی مانع از خروج بخار آب می‌گردد.

Malecki و همکاران (۱۹۷۰) و Heldman و Hohner (۱۹۷۴) نیز گزارش کردند که انتشار آب فاکتور کنترل‌کنندهٔ سرعت خشک‌شدن در خشک‌کن انجمادی است، ازاین‌رو، کاهش اندازهٔ ذرات می‌تواند فرایند خشک‌شدن را تسریع نماید.



روش خشک کردن

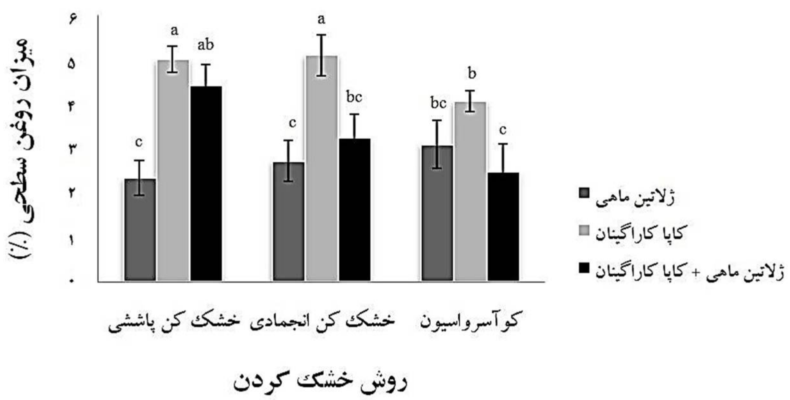
شکل ۱- مقایسهٔ میانگین رطوبت میکروکپسول‌های روغن‌ماهی در تیمارهای مختلف

حروف مختلف نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد می‌باشند. تیرک‌های ترسیم‌شده نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده است.

روغن سطحی و کل

دیوارهٔ کاپاکاراگینان در روش کوآسرواسیون با ۲ روش دیگر تفاوت معنی‌دار در میزان روغن سطحی نشان داد (شکل ۲). مطالعهٔ سایر محققین روی مقایسهٔ روش‌های مختلف ریزپوشانی نشان می‌دهد که پودرهای تولیدی با روش خشک‌کن پاششی از مقدار روغن سطحی کمتر و کارایی ریزپوشانی بالاتری نسبت به روش خشک‌کردن انجمادی برخوردار می‌باشند. این محققین پس از کوآسرواسیون خشک‌کردن پاششی را روش مطلوبی برای حفظ کیفیت روغن‌ماهی معرفی نمودند (Eratte *et al*., 2014).

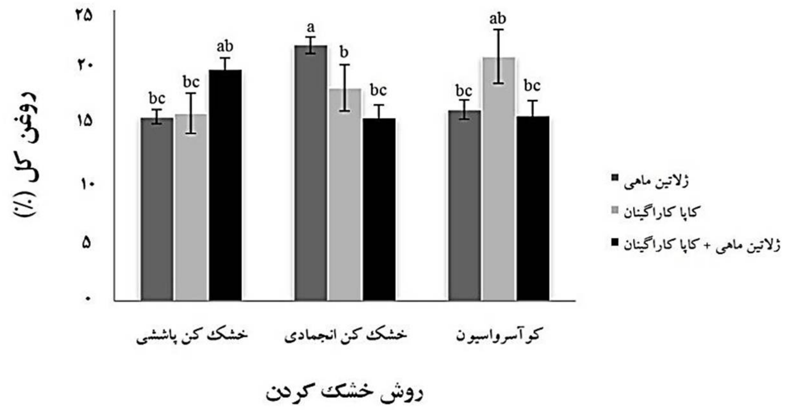
براساس نتایج به‌دست‌آمده، در تیمارهای ژلاتین، میزان روغن سطحی کمتر از سایر تیمارها بوده است. این امر احتمالاً به‌دلیل تشکیل سریع پوسته بر سطح ذرات می‌باشد (Pourashouri *et al*., 2014). مقدار روغن سطحی، یکی از فاکتورهای کلیدی در تعیین کیفیت پودرهای خشک‌شده با خشک‌کن پاششی می‌باشد. روغن موجود بر سطح ذرات اساساً مسئول اکسیداسیون است. در مقایسهٔ کلی روش کوآسرواسیون برای کاهش میزان روغن سطحی روش مناسب‌تری بوده و تیمارهای حاوی ژلاتین ماهی نیز از کارایی بهتری در ریزپوشانی برخوردار بودند.



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین روغن سطحی میکروکپسول‌های روغن‌ماهی در تیمارهای مختلف

حروف مختلف نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند. تیرک‌های ترسیم‌شده نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده است.

نتایج مربوط به اندازه‌گیری روغن کل در شکل (۳) نشان داده شده است. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که در یک روش خشک‌کردن مشخص نوع دیواره اثری بر میزان روغن کل ندارد و مقایسهٔ دیواره‌های یکسان در روش‌های مختلف خشک‌کردن نیز تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.



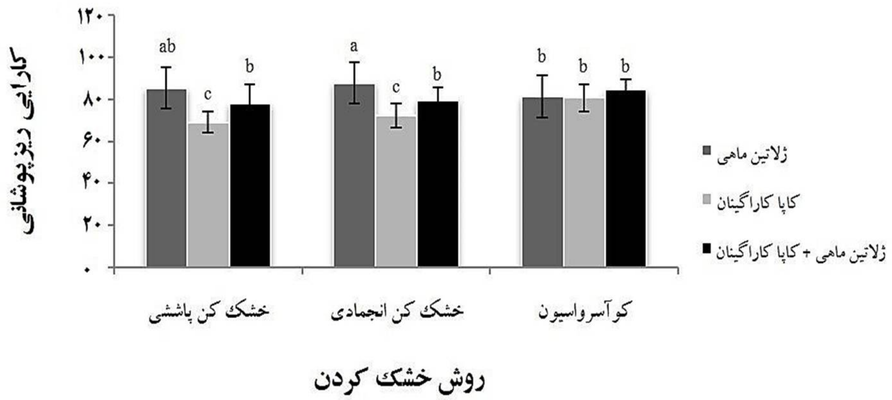
شکل ۳- مقایسهٔ میانگین روغن کل میکروکپسول‌های روغن‌ماهی در تیمارهای مختلف

حروف مختلف نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند. تیرک‌های ترسیم‌شده نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده است.

کارایی ریزپوشانی

کارایی ریزپوشانی تعیین مقدار روغنی است که با موفقیت ریزپوشانی‌شده و از مقادیر روغن سطحی و روغن کل، محاسبه می‌گردد ریزپوشانی یکی از فاکتورهای مهم در تعیین پایداری ترکیبات ریزپوشانی‌شده می‌باشد، زیرا نشانگر وجود روغن سطحی بر سطح ذرات پودر و توانایی دیواره‌ها در جلوگیری از خروج روغن درونی است (Klinkesorn *et al.*, 2006). به‌طورکلی این دیدگاه وجود دارد که، پایداری ترکیبات با افزایش کارایی ریزپوشانی، افزایش می‌یابد و برای دستیابی به شرایط بهینه باید تا حد امکان سعی در افزایش کارایی ریزپوشانی نمود (Drusch *et al.*, 2008; 2012). مطالعه‌های پیشین نشان داده‌اند که نوع دیواره و هسته، ویژگی‌های امولسیون و پارامترهای خشک‌کردن، همه بر کارایی ریزپوشانی اثر می‌گذارند (Baik *et al.*, 2004;

Klinkesorn *et al*., 2006; Hardas *et al*., 2000; Heinzelmann *et al*., 1999; Hogan *et al*., 2003; Lin *et al*., 1995; Velasco *et al*., 2000; Eratte *et al*., 2014). مقادیر کارایی ریزپوشانی در شکل (۴) نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در بین دیواره‌های مختلف در روش‌های خشک‌کن انجمادی و خشک‌کن پاششی است (P<۰/۰۵). بررسی تأثیر دیواره‌ها بر این فاکتور نشان می‌دهد که دیوارهٔ ژلاتینی در روش خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی بالاترین میزان کارایی ریزپوشانی (به‌ترتیب ۸۵/۲ و ۸۷/۶ درصد) را در پودرهای تولیدی با ۳ روش داشته است، درحالی‌که دیوارهٔ کاپاکاراگینان در هر ۳ روش تولید کمترین میزان کارایی ریزپوشانی را از خود نشان داد. بررسی تأثیر روش ریزپوشانی بر درصد کارایی، تنها تفاوت معنی‌دار بین تیمار کاپاکاراگینان در روش کوآسرواسیون با ۲ روش دیگر را نشان داد. Swetank و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که ترکیب دو مادهٔ دیواره (پروتئین و پلی‌ساکارید) سبب کاهش کارایی ریزپوشانی نسبت به استفادهٔ هرکدام به تنهایی می‌شود، در مطالعهٔ حاضر نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد و تیمارهای پروتئینی کارایی ریزپوشانی بهتری نسبت به دیواره‌های ترکیبی داشتند. در مطالعهٔ Lim و همکاران (۲۰۱۱) استفاده از دیوارهٔ پروتئینی (کازئینات سدیم) در مقابل دیوارهٔ کربوهیدراتی (صمغ عربی) سبب افزایش کارایی ریزپوشانی از ۷۷ به ۹۸ درصد گردید که با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد.



شکل ۴- مقایسهٔ میانگین کارایی ریزپوشانی میکروکپسول‌های روغن‌ماهی در تیمارهای مختلف

حروف مختلف نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند. تیرک‌های ترسیم‌شده نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده است.

رنگ میکروکپسول‌ها

رنگ پودرهای تولیدی از لحاظ پذیرش و افزودن آن به محصولی دیگر بسیار مهم است (Klaypradit & Huang, 2008). مقدار روشنایی نمونه‌های تیمار ژلاتینی حاصل از کوآسرواسیون به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها کمتر بود. شاخص a^* در تیمار ژلاتینی حاصل از کوآسرواسیون بیشترین میزان و در تیمار ژلاتینی حاصل از خشک‌کن انجمادی کمترین میزان را نشان داد که به‌ترتیب برابر ۳/۷۲ و ۲/۳۹ بودند (جدول ۲). مقدار قرمزی پودرهای تولیدی در تیمار کاپاکاراگینان با روش خشک‌کن انجمادی به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها بالاتر بوده (P<۰/۰۵) و تنها با تیمار کاپاکاراگینان حاصل از روش کوآسرواسیون تفاوت معنی‌دار از خود نشان نداده است (P>۰/۰۵).

جدول ۲- ویژگی‌های رنگ پودرهای تولیدی در تیمارهای مختلف (میانگین±انحراف معیار)

روش ریزپوشانی	نوع دیواره	L^*	a^*	b^*
خشک‌کن پاششی	ژلاتین ماهی	۹۳/۴۴^{a}±۰/۴۱	۲/۶۳^{bc}±۰/۲۱	۰/۷۵^{b}±۰/۱۸
	کاپاکاراگینان	۹۲/۷۳^{a}±۰/۷۴	۳/۰۷^{bc}±۰/۱۷	۲/۶۱^{a}±۰/۴۱
	ژلاتین ماهی+کاپاکاراگینان	۹۲/۴۱^{a}±۰/۳۹	۲/۸۴^{bc}±۰/۳۲	۰/۹۰^{b}±۰/۰۷
خشک‌کن انجمادی	ژلاتین ماهی	۹۳/۸^{a}±۰/۵۱	۲/۳۹^{c}±۰/۳۸	۰/۱۱^{b}±۰/۰۵
	کاپاکاراگینان	۹۲/۶۵^{a}±۰/۴۴	۳/۱۱^{bc}±۰/۱۱	۳/۱۷^{a}±۰/۵۹
	ژلاتین ماهی+کاپاکاراگینان	۹۳/۱۵^{a}±۰/۲۳	۳/۰۹^{bc}±۰/۱۶	۰/۱۱^{b}±۰/۰۵
کوآسرواسیون	ژلاتین ماهی	۹۰/۴۸^{b}±۱/۳۶	۳/۷۲^{ab}±۰/۲۲	۰/۹۷^{b}±۰/۱۶
	کاپاکاراگینان	۹۲/۷۵^{a}±۰/۶۹	۲/۴۱^{c}±۰/۳	۱/۹۸^{ab}±۰/۴۵
	ژلاتین ماهی+کاپاکاراگینان	۹۳/۲۰^{a}±۰/۴۳	۲/۵۲^{c}±۰/۲۷	۰/۱۸^{b}±۰/۰۷

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند. تیرک‌های ترسیم‌شده نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده است.

بالابودن شاخص زردی در تیمارهای کاپاکاراگینان را شاید بتوان به استفاده از لستین در این تیمار به‌عنوان امولسیفایر نسبت داد و یا شاید بتوان فرضیهٔ Drusch و همکاران (۲۰۰۶) را در بالابودن روغن سطحی در این تیمار قبول نمود، زیرا میزان روغن سطحی در این تیمارها از سایر تیمارها بیشتر بوده است. در بررسی پودرهای روغن‌ماهی تولیدی (ژلاتین، ساکارُز و لاکتوز و پولولان[1]) تغییر شاخص‌های رنگی در تیمارهای حاوی لاکتوز بیش از نمونه‌های حاوی پولولان بود. این تفاوت ناشی از شکست پودرها و خروج رنگ بیشتر و در واقع نشانگر کارایی کمتر ریزپوشانی بود (Koc *et al*., 2010).

مورفولوژی میکروکپسول‌ها

مطالعه‌های مورفولوژیکی ذرات خشک‌شده اطلاعات باارزشی را درمورد خشک‌کردن ذرات و فاکتورهای شیمیایی و فیزیکی مؤثر بر ساختار ذرات فراهم می‌نماید (Walton, 2000; Kagami *et al*., 2003). مورفولوژی سطحی نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی گردید. شکل (۵) تصاویر میکروسکوپ الکترونی را برای هر دسته از میکروکپسول‌ها نشان می‌دهد. به‌طورکلی میکروکپسول‌های تولیدی دارای شکل‌های کروی و سطوح صاف و در برخی نمونه‌ها دارای چروکیدگی و در برخی دیگر دارای شکستگی و دندانه‌دار بودند.

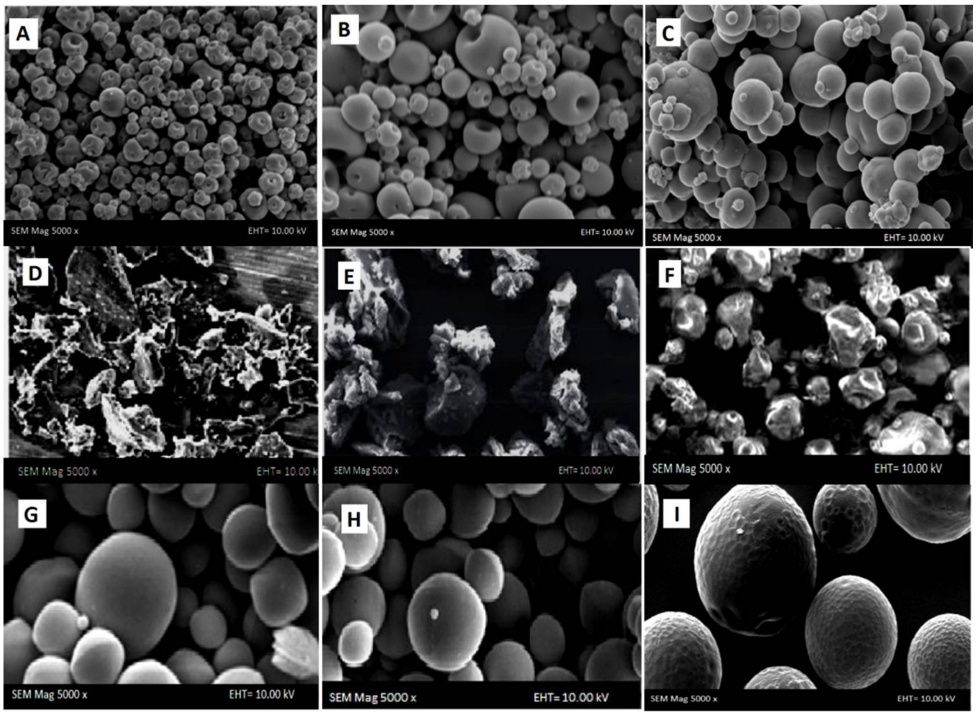
یکی از ویژگی‌های سطوح خارجی میکروکپسول‌های خشک‌شده با خشک‌کن پاششی، وجود فرورفتگی می‌باشد (Kagami *et al*., 2003). در این بررسی نیز مقدار بسیار کمی چروکیدگی و فرورفتگی در سطح پودرهای تیمارهای خشک‌کن پاششی مشاهده می‌شود (شکل‌های A-C). این پودرها کروی بوده که از خصوصیات پودرهای خشک‌شده به این روش است. همچنین در برخی موارد پودرهای تولیدی دارای منفذ بودند، چنین ساختاری در بررسی‌های Al-Hakim & Stapley (۲۰۰۴)، Rajam و همکاران (۲۰۱۲) و Swetank و همکاران (۲۰۱۵) نیز مشاهده شده است.

پودرهای حاصل از تیمارهای خشک‌کن انجمادی دارای شکستگی و دندانه‌دار می‌باشند، همچنین چروک‌خوردگی‌هایی روی سطح دیده می‌شود و مقدار چروک‌خوردگی و فرورفتگی سطح پودرها در این تیمارها بیشتر از سایر تیمارها بود، همچنین در این ذرات ترک و شکاف‌های بسیاری نیز قابل مشاهده بودند (شکل‌های D-F). پودرهای این تیمارها، نامنظم، فلس‌مانند، دارای تخلخل فراوان و کریستال‌مانند بودند. چنین مورفولوژی برای پودرهای ریزپوشانی‌شده ازطریق خشک‌کن انجمادی در مطالعهٔ Karthik & Anandharamakrishnan (۲۰۱۳)، Swetank و همکاران (۲۰۱۵) و Errate و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش شده است.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به میکروکپسول‌های تولیدی ازطریق کوآسرواسیون

[1] Pullulan

(شکل‌های G-I) درصد ذرات با سطوح صاف بیشتری را نشان می‌دهند و میزان چروکیدگی سطوح در این تیمارها تقریباً مشاهده نمی‌شود، همچنین این میکروکپسول‌ها از میکروکپسول‌های تولیدی سایر تیمارها کروی‌تر می‌باشند.



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی میکروکپسول‌های تولیدی در تیمارهای متفاوت

تصاویر A-C نمونه‌های حاوی روغن‌ماهی تولیدی با روش خشک‌کردن پاششی به‌ترتیب با دیواره‌های ژلاتین ماهی، کاپاکاراگینان و دیوارهٔ ترکیبی؛ تصاویر D-F نمونه‌های حاوی روغن‌ماهی تولیدی با روش خشک‌کردن انجمادی به‌ترتیب با دیواره‌های ژلاتین ماهی، کاپاکاراگینان و دیوارهٔ ترکیبی؛ تصاویر G-I نمونه‌های حاوی روغن‌ماهی تولیدی با روش کوآسرواسیون به‌ترتیب با دیواره‌های ژلاتین ماهی، کاپاکاراگینان و دیوارهٔ ترکیبی

براساس این نتایج، در بین تیمارها نمونه‌های ریزپوشانی‌شده با ژلاتین دارای چروک‌خوردگی و سطح ناهموار بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها بودند. در مطالعهٔ Cho و همکاران (۲۰۰۳) پودرهای ژلاتینی ازنظر شکل، کروی و بسیار متخلخل بوده و سطوح چروک‌خورده‌ای داشتند. وجود چین‌خوردگی را می‌توان نتیجهٔ استرس‌های مکانیکی دانست که ناشی از عدم خشک‌شدن یکسان بخش‌های مختلف ذرات مایع در طی مراحل اولیهٔ خشک‌کردن است و به مکانیزم جابجایی و حرکت رطوبت، سبب بادکردگی و تورم یا چروک‌خوردن سطح می‌گردد. حفره‌های احتمالاً در فاز نهایی خشک‌کردن و به‌دلیل چروک‌شدن غیریکسان ایجاد شده بودند (Walton, 2000; Klinkesorn *et al.*, 2006).

برخی از محققین تشکیل حباب‌های مرکزی[1] در ذرات خشک‌شده با خشک‌کن پاششی را ناشی از انبساط میکروکپسول‌ها دانسته‌اند زیرا در مرحلهٔ نهایی خشک‌شدن، درجه‌حرارت در میکروکپسول‌ها افزایش می‌یابد و امکان دارد که سبب ایجاد شکستگی و شکاف در ذرات گردد (Kagami *et al.*, 2003). پلیمرهای با وزن مولکولی بالا سریع خشک می‌شوند و فیلم‌های سطحی ایجاد می‌نمایند، ایجاد این فیلم‌ها احتمالاً مانع از انتشار و پخش بخارهای درونی می‌شوند و درنتیجه ایجاد حباب در شبکهٔ دیواره

[1] Ballooning

افزایش می‌یابد. بنابراین انتظار می‌رود که تشکیل سریع فیلم سطحی، فضای داخلی میکروکپسول‌ها را توسعه داده و پس از چروک‌خوردگی سبب ایجاد فرورفتگی‌های بیشتری گردد (Kagami *et al.*, 2003).

در تیمارهای با دیوارهٔ ترکیبی مقداری توده‌ای‌شدن مشاهده می‌شود. یافته‌های مشابهی توسط Peng و همکاران (۲۰۱۳) و Swetank و همکاران (۲۰۱۵) هنگامی که از کربوهیدرات در ترکیب دیواره استفاده کردند، گزارش شده است. توده‌ای‌شدن (آگلومراسیون[1]) و ساختار به‌هم‌چسبیده با تغییر حالت شیشه‌ای[2] ماتریکس‌های بی‌شکل کربوهیدرات‌ها (Bae & Lee, 2008) و مقدار بالای روغن سطحی (Hogan *et al.,* 2001) ارتباط دارد.

اندازهٔ ذرات میکروکپسول‌های تولیدی

اندازه‌گیری ذرات میکروکپسول بسیار مهم است، زیرا این ذرات بر بافت مواد غذایی که به آن اضافه می‌شوند، تأثیر می‌گذارد. نتایج اندازه‌گیری ذرات پودرهای تولیدی در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. طبق نتایج به‌دست‌آمده تفاوت معنی‌داری بین اندازهٔ پودرهای تولیدی به‌دست‌آمده در هر ۳ روش مشاهده گردید (P<۰/۰۵). در تیمارهای تولیدی توسط خشک‌کن انجمادی اندازهٔ ذرات بین ۳۱۲/۸-۹۶۵/۲ نانومتر بود و این تیمارها کوچک‌ترین اندازهٔ ذرات را به خود اختصاص دادند. پس از آن میکروکپسول‌های تولیدشده به روش خشک‌کن پاششی با اندازهٔ ذراتی بین ۸۵۴/۱-۱۲۶۷/۸ نانومتر اندازهٔ ذرات بزرگ‌تری دارند. اندازهٔ ذرات پودرهای ریزپوشانی‌شده در خشک‌کن پاششی، باتوجه‌به امولسیون‌های اولیه (ویسکوزیته و غلظت مواد جامد)، پارامترهای اتُمیزاسیون[3] تعیین می‌شوند (Walton, 2000). پودرهای روغن‌ماهی تولیدشده به روش کوآسرواسیون با اندازهٔ ذراتی بین ۲۵۹۴/۳۲-۳۰۹۸/۲۱۳ نانومتر بزرگ‌ترین دستهٔ اندازهٔ ذرات پودرها را داشتند. بزرگ‌تربودن این دسته از میکروکپسول‌ها به‌دلیل تراکم تعدادی کوآسرواتها ی[4] تک‌هسته است (Barrow *et al.*, 2009). این کوآسرواتها در مقایسه با کوآسرواتهای تشکیل‌شده توسط روش‌هایی مانند خشک‌کن پاششی یا انجمادی، میزان بارگذاری هسته بیشتر و دیوارهٔ ضخیم‌تری دارند که این امر سبب پایداری اکسیداسیونی بیشتر آنها نیز می‌گردد (Barrow *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2014).

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که نوع مواد دیوارهٔ به‌کاررفته و روش تولیدی هر ۲ بر اندازهٔ ذرات پودرها تأثیرگذار می‌باشند. نتایج تحقیق‌های Swetank و همکاران (۲۰۱۵) روی روغن وانیل ریزپوشانی‌شده با روش‌های مختلف هم‌راستا با یافته‌های این تحقیق است و نشان می‌دهد مواد دیواره و تکنیک ریزپوشانی هر دو به‌طور معنی‌داری روی اندازه، شکل و به‌طور کلی ساختار میکروکپسول‌ها اثرگذار است. در بررسی Pourashouri و همکاران (۲۰۱۴) روی بررسی تأثیر دیواره بر خصوصیات میکروکپسول، دیوارهٔ پروتئینی اندازهٔ ذرات کوچک‌تری نسبت به دیوارهٔ کربوهیدراتی داشت. در تحقیق حاضر نیز تیمارهای با دیوارهٔ ژلاتینی و پس از آن کاپاکاراگینان اندازهٔ ذرات کوچک‌تری داشته‌اند. علاوه‌بر این پودرهای حاصل از کوآسرواسیون با اندازهٔ ذرات بزرگ‌تر، میزان روغن سطحی کمتری را نشان می‌دهند. در بررسی Peng و همکاران (۲۰۱۴) روی ریزپوشانی روغن خردل با روش کوآسرواسیون، اندازهٔ ذرات بین ۱۵-۱ میکرومتر بود.

[1] Agglomeration
[2] Glass transition
[3] Atomization
[4] Coacervated

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین اندازه ذرات میکروکپسول‌های تولیدی (نانومتر)

روش ریزپوشانی	نوع دیواره	اندازل ذرات (نانومتر)	کثرت
خشک‌کن پاششی	ژلاتین ماهی	۸۵۴/۱[c]±۱۱۶/۱	۸۰/۱
	کاپاکاراگینان	۹۰۷/۲[c]±۲۷/۹۲	۷۵/۱۲
	ژلاتین ماهی+کاپاکاراگینان	۱۲۶۷/۸[bc]±۴۷/۲۱	۶۷/۴۸
خشک‌کن انجمادی	ژلاتین ماهی	۹۶۵/۲[c]±۷۲۶/۳	۸۳/۷
	کاپاکاراگینان	۳۲۵/۲[d]±۳۴/۳۷	۶۹/۹
	ژلاتین ماهی+کاپاکاراگینان	۳۱۲/۸[d]±۱۹/۸۴	۸۰/۶۱
کوآسرواسیون	ژلاتین ماهی	۲۵۹۴/۳۲[a]±۱۱۴/۵۲	۹۱/۳۲
	کاپاکاراگینان	۲۸۴۵/۳۶[a]±۱۳۱/۹۱	۸۰/۶۵
	ژلاتین ماهی+کاپاکاراگینان	۳۰۹۸/۲۱۳[a]±۳۱۷/۰۵	۸۹/۴۳

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تهیه و تولید پودرهای حاوی روغن‌ماهی با استفاده از ژلاتین ماهی و کاپاکاراگینان مستخرج از جلبک‌های قرمز و با به‌کارگیری متدهای مختلف ریزپوشانی بود، تا از این مواد به شکلی نو و در ترکیب با یکدیگر استفاده شود و بتوان از محصول نهایی جهت غنی‌سازی مواد غذایی استفاده نمود. به‌طورکلی یافته‌های حاصل از این بررسی نشان دادند که ژلاتین ماهی در مقایسه با سایر دیواره‌ها سبب پایداری بهتر میکروکپسول‌ها گردید و کاراگینان به تنهایی دیوارهٔ مناسبی برای ریزپوشانی به‌ویژه در روش خشک‌کردن پاششی نبوده و استفاده از کاراگینان به همراه سایر ژلاتین ترکیب بهتری برای ریزپوشانی روغن‌ماهی خواهد بود. در بین روش‌ها کوآسرواسیون در بین روش‌ها از میزان روغن سطحی کمتر و کارایی بالاتری برخوردار بود.

منابع

۱- پورعاشوری، پ. ۱۳۹۵. استفاده از عصاره پستهٔ وحشی، چای سبز و رزماری بر پایداری اکسایشی امولسیون روغن ماهی. طرح تحقیقاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

2- Alamed, J., McClements, D.J., & Decker, E.A. 2006. Influence of heat processing & calcium ions on the ability of EDTA to inhibit lipid oxidation in oil-in-water emulsions containing omega-3 fatty acids. Food Chemistry, 95(4):585-590.

3- Al-Hakim, K., & Stapley, A.G.F. 2004. Morphology of spray-dried & spray–freeze-dried whey powders. In Proceedings of the 14th International Drying symposium (IDS 2004), 22-25 August. Sao Paulo, Brazil.

4- Anandharamakrishnan, C., Rielly, C.D., & Stapley, A.G.F. 2008. Loss of solubility of a-lactalbumin & b-lactoglobulin during the spray drying of whey proteins. LWT–Food Science & Technology, 41(2):270-277.

5- AROQ. 2003. The quest for health boosts Europe's functional foods market to £2bn. Retrieved from http://just-food.com/features_detail.asp?art=806 on December 11.

6- Bae, E.K., & Lee, S.J. 2008. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein & maltodextrin. Journal of Microencapsulation, 25(8):549-560.

7- Baik, M., Suhendro, E., Nawar, W., Mcclements, J., Decker, E., & Chinachoti, D. 2004. Effects of antioxidants & humidity on the oxidative stability of microencapsulated fish oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 81(4):355-360.

8- Bao, S.S., Hu, X.C., Zhang, K., Xu, X.K., Zhang, H.M., & Huang. H. 2011. Characterization Of Spray-Dried Microalgal Oil Encapsulated In Cross-Linked Sodium Caseinate Matrix Induced By Microbial Transglutaminase. Journal of Food Science, 76(1):112-118.

9- Barrow, C., Nolan, C., & Jin, Y.L. 2007. Stabilization of highly unsaturated fatty cids & delivery into foods. Lipid Technology, 19(5):108-111.

10-Barrow, C., Noleen, C., & Holub, B.J. 2009. Bioequivalence of encapsulated & microencapsulated fish-oil supplementation. Journal of Functional Foods, 1(1):38-43.

11-Cho, Y.H., Shim, H.K., & Park, J. 2003. Encapsulation of fish oil by an enzymatic gelation process using transglutaminase cross-linked proteins. Journal of Food Science, 68(9):2717-2723.

12-Dahm, L. 1999. Fish oils provide fatty acids that are critical for health. Journal of Food Processing & Preservation, 36:185-190.

13-Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces & the influence on the propertiesof dispersed systems. Food Hydrocolloids, 17(1):25-39.

14-Dong, Z.J., Touré, A., Jia, C.S., Zhang, X.M., & Xu, S.Y. 2007. Effect of processing parameters on the formation of spherical multinuclear microcapsules encapsulating peppermint oil by coacervation. Journal of Microencapsulation, 24(7):634-46.

15-Dong, Z.J., Xia, S.Q., Hua, S., Hayat, K., Zhang, X.M., & Xu, S.Y. 2008. Optimization of cross-linking parameters during production of transglutaminase-hardened spherical multinuclear microcapsules by complex coacervation. Colloids Surf Biointerfaces, 63(1):41-47.

16-Drusch, S., & Berg, S. 2008. Extractable oil in microcapsules prepared by spray-drying: localisation, determination & impact on oxidation stability. Food Chemistry, 109(1):17-24.

17-Drusch, S., Serfert, Y., Berger, A., Shaikh, M.Q., Ratzke, K., Zaporojtchenko, V., & Schwarz, K. 2012. New insights into the microencapsulation properties of sodium caseinate and hydrolyzed casein. Food Hydrocolloids, 27(2):332-338.

18-Drusch, S., Serfert, Y., Heuvel, A.V.D., & Schwarz, K. 2006. Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in an amorphous matrix containing trehalose. Food Research International, 39(7):807-815.

19-Eratte D., Wang B, Dowling, K., Barrow C.J., & Adhikari B.P. 2014. Complex coacervation with whey protein isolate & gum arabic for the microencapsulation of omega-3 rich tuna oil. Food Function, 5(11):2743- 2750.

20-Hall, G.M. 1996. Methods of testing protein functionality. Blackie academiv & professional, London, UK. 265p.

21-Hambleton, A., Fabra, M.J., Debeaufort, F., Dury-Brun, C., & Voilley, A. 2009. Interface and aroma barrier properties of iota-carrageenan emulsion-based films used for encapsulation of active food compounds. Journal of Food Engineering, 93(1):80-88.

22-Hardas, N., Danviriyakul, S., Foley, J.L., Nawar, W.W., & Chinachoti, P. 2000. Accelerated stability studies of microencapsulated anhydrous milk fat. Lebensm.-Wiss. Technology, 33(7):506-513.

23-Heinzelmann, K., & Franke, K. 1999. Using freezing & drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stability. Colloids & Surfaces B: Biointerfaces, 12(3-6):223-229.

24-Heinzelmann, K., Franke, K., Valesco, J., & Marquez-Ruiz, G. 2000. Protection of fish oil from oxidation by microencapsulation using freeze-drying techniques. Europian Food Research Technology, 211(2):234-239.

25-Heldman, D.R., & Hohner, G.A. 1974. An analysis of atmospheric freeze drying. Journal of Food Science, 39(1):147-155.

26-Hogan, S.A., O'Riordan, E.D., & O'Sullivan, M. 2003. Microencapsulation and oxidative stability of spray-dried fish oil emulsions. Journal of Microencapsulation, 20(5):675-688.

27-Hogan, S.A., McNamee, B.F., O'Riordan, E.D., & O'Sullivan, M. 2001. Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. International Dairy Journal, 11(3):137-144.

28-Gan, C.Y., Cheng, L.H., & Easa, A.M. 2008. Evaluation of microbial transglutaminase & ribose crosslinked soy protein isolate-based microcapsules containing fish oil. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 9(4):563-569.

29-Kagami, S., Sugimura, S., Fujishima, N., Matsuda, K., Kometani, T., & Matsumura, Y. 2003. Oxidative stability, structure, & physical characteristics of microcapsules formed by spraying drying of fish oil with protein & dextrin wall materials. Journal of Food Science, 68(7):2248-2255.

30-Karthik, P., & Annharamakrishnan, C. 2013. Microencapsulation of docosahexaenoic acid by spray-freeze-drying method & comparison of its stability with spray-drying & freeze-drying methods. Food & Bioprocess Technology, 6(10):2780-2790.

31-Kitessaa, S.M., Gulatib, S.K., Ashesb, J.R., Fleckb, E., Scottc,T.W., & Nichols, P.D. 2001. Utilisation of fish oil in ruminants II. Transfer of fish oil fatty acids into goats' milk. Animal Feed Science & Technology, 89(3-40):201-208.

32-Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., Decker, E.A., & McClements, D.J. 2006. Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. Food Research International, 39(4):449-457.

33-Klaypradit, W., & Huang, Y. 2008. Fish oil encapsulation with chitosan using ultrasonic atomizer. LWT-Food Science & Technology, 41(6):1133-1113.

34-Koc, M., Yilmazer, M.S., & Figen, K.E. 2010. Use of Gelatin, Pullulan, Lactose & Sucrose as Coating Material for Microencapsulation of Fish Oil by Freeze Drying. Akademik Gida, 8(4):13-16.

35-Kolanowski, W., Ziolkowski, M., Weissbrodt, J., Kunz, B., & Laufenberg, G. 2006. Microencapsulation of fish oil by spray drying-impact on oxidative stability. Part I. European Food Research and Technology, 222(3-4):336-342.

36-Kolanowski, W., Jaworska, D., Weissbrodt, J., & Kunz, B. 2007. Sensory assessment of microencapsulated fish oil powder. Journal of the American Oil Chemists' Society, 84(1):37-45.

37-Lim, H.K., Tan, C.P., Bakar, J., & Ng, S.P. 2011. Effects of different wall materials on the physicochemical properties & oxidative stability of spray-dried microencapsulated red-Fleshed Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed oil. Food Bioprocess & Biotechnology, 5(4):1220-1227.

38-Lin, C.C., Lin, S.Y., & Hwang, L.S. 1995. Microencapsulation of squid oil with hydrophilic macromolecules for oxidative & thermal stabilization. Journal of Food Science, 60(1):36-39.

39-Malecki, G.J., Shinde, P., Morgan, A.I., & Farkas, D.F. 1970. Atmospheric fluidized bed freeze drying. Food Technology, 24:601-603.

40-Masters, K., 1991. Spray Drying H & book, 5th ed. Longman Scientific & Technical, London.

41-McClements, D.J. 2005. Food Emulsions: Principles, Practice, & Techniques (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.

42-Peng, Z., Li, J., Guan, Y., & Zhao, G. 2013. Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities & biological components of spray-dried purple sweet potato flours. LWT-Food Science & Technology, 51(1):348-355.

43-Pourashouri, P., Shabanpour, B., Razavi, S.H., Jafari, S.M., Shabani, A., & Aubourg, S. 2014. Impact of Wall Materials on Physicochemical Properties of Microencapsulated Fish Oil by Spray Drying. Food Bioprocess Technology, 51(8):348-355.

44-Rajam, R., Karthik, P., Parthasarathi, S., Joseph, G.S., & Anandharamakrishnan, C. 2012. Effect of whey protein-Alginate wall systems on survival of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* in simulated gastrointestinal conditions. Journal of Functional Foods, 4(4):891-898.

45-Shen, Z., Augustin, M.A., Sanguansri, L., & Cheng, L.J. 2010. Oxidative stability of microencapsulated fish oil powders stabilized by blends of chitosan, modified starch, & glucose. Journal of Agricultural of Food Chemistry, 58: 4487-4493.

46-Shi, L., Li, Z., Zhang, Z., Zhang, T., Yu, W., Zhou, M., & Tang, Z. 2013. Encapsulation of Lactobacillus bulgaricus in carrageenan-locust bean gum coated milk microspheres with double layer structure. LWT-Food Science & Technology, 54(1):147-151.

47-Swetank, Y., Hundre, P., & Anaharamakrishnan C. 2015. Effect of whey protein isolate and b-cyclodextrin wall systems on stability of microencapsulated vanillin by spray-freeze drying method. Food Chemistry 174:16-24.

48-Takeungwongtrakul, S., & Benjakul, S. 2017. Effect of glucose syrup and fish gelatin on physicochemical properties and oxidative stability of spray-dried micro-encapsulated shrimp oil. Journal of Food Processing and Preservation, 41(3):1-12.

49-Truelstrup-Hansen, L, Allan-Wojtas, P.M., Jin, Y.L., & Paulson, A.T. 2002. Survival of free & Ca-alginate microencapsulated Bifi dobacterium spp. in simulated gastrointestinal conditions, Food Microbiology, 19(1):35-45.

50-Velasco, J., Dobarganes, C., & Marquez-Ruiz, G. 2000. Oxidation of free & encapsulated oil fractions in dried microencapsulated fish oils. Grasas Aceites (SeVilla), 51(6):439-446.

51-Versic, R.J. 2003. Coacervation for flavor encapsulation. Journal of Microencapsulation, 14:126-131.

52-Walton, D.E. 2000. The morphology of spray-dried particles. A qualitative view. Drying Technology, 18(9):1943-1986.

53-Wang, B., Adhikari, B., & Barrow, C.J. 2014. Optimisation of the microencapsulation of tuna oil in gelatin-sodium hexametaphosphate using complex coacervation. Food Chemistry, 158(1):358-365.

54-Zhong, Q., Tian, H., & Zivanivic, S. 2009. Encapsulation of fish oil in solid zein particles by liquid-liquid dispersion. Journal of Food Processing and Preservation, 33(2):255-270.

The Effect of Wall Material and Encapsulation Method on Physicochemical Properties Micro-encapsulated Fish Oil

Bahare Shabanpour[1*], Bahar Mehrad[2], Parastoo Pourashouri[3], Seyed Mahdi Jafari[4]

1- Professor, Department of Seafood Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
* Corresponding author (b_shabanpour@yahoo.com)
2- PhD Graduated, Department of Seafood Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Seafood Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- Associate Professor, Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

In this study the physicochemical characteristics of microencapsulated fish oil using various wall materials and drying methods were examined. The fish oil encapsulated by three combinations of matrices (fish gelatin+maltodextrin, κ carrageenan+maltodextrin, fish gelatin+ κ carrageenan +maltodextrin), and 25% fish oil emulsions were dried through three different methods: coacervation (CC), spray drying (SD), and freeze drying (FD). Physicochemical characteristics including moisture content, surface and total oil, encapsulation efficiency, color and morphology of microcapsules were investigated. According to results, the combination of fish gelatin and maltodextrin was the best wall combination and also coacervation was the best method to encapsulation of fish oil. These powders had higher encapsulation efficiency and lower surface oil than the other treatments. The results indicated that microcapsules produced by coacervation actually formed larger microcapsules, which provided maximum protection to the fish oil droplets. Comparison of the CC, SD, and FD processes confirmed that combination of matrices; drying temperature, morphology and processing time were among the most critical factors influencing fish oil powders.

Keywords: Coacervation, Encapsulation, Fish Oil, Microcapsule, Spray Drying

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۴۸-۲۹

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

بهینه‌سازی متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن محصول اسنک حجیم حاوی آرد کنجالهٔ بنه

بهنام فیوضی[۱]، محمدجواد وریدی[۲]*، الناز میلانی[۳]، فخری شهیدی[۴]، محمدحسین حداد خداپرست[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (mjvaridi@um.ac.ir)
۳- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، سازمان مرکزی جهاددانشگاهی، مشهد، ایران
۴- استاد، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۰۴

واژه‌های کلیدی
اکستروژن
بافت‌سنجی
چگالی توده
خصوصیات عملکردی
نسبت انبساط

چکیده

در این تحقیق، از رویهٔ سطح پاسخ جهت بهینه‌سازی شرایط اکستروژن استفاده شد. متغیرهای مستقل فرایند شامل آرد کنجالهٔ بنه (PDBC) که به‌طور جزئی چربی‌گیری شده است، PDBC (۳۰-۱۰ درصد)، میزان رطوبت (۱۸- ۱۲ درصد)، دمای اکستروژن (۱۸۰-۱۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و سرعت چرخش ماردون اکسترودر (۲۲۰- ۱۲۰ دور در دقیقه) بود. تأثیر متغیرهای مستقل بر برخی خصوصیات فیزیکی و عملکردی مورد بررسی قرارگرفت، که شامل چگالی توده، نسبت انبساط، سختی بافت، شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب و شاخص جذب چربی بودند. نتایج نشان داد که افزایش PDBC خصوصیات فیزیکی و عملکردی اسنک حجیم‌شده را بهبود بخشید. چگالی توده با افزایش PDBC به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. جایگزینی بخشی از آرد ذرت توسط PDBC سبب افزایش مقدار فیبر گردیده و میانگین اندازهٔ سلول‌های هوایی کاهش یافت و حفره‌ها در دیوارهٔ سلولی ایجاد شدند. به‌علاوه، با افزایش میزان PDBC سختی بافت نیز افزایش یافت. با افزودن PDBC شاخص جذب آب و شاخص انحلال در آب به‌ترتیب کاهش و افزایش یافتند. شاخص جذب روغن نیز با افزایش PDBC و دمای اکسترودر افزایش یافت. از بین متغیرهای مستقل مورد مطالعه، PDBC معنی‌دارترین تأثیر را بر تمامی پاسخ‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشت. شرایط بهینه برای تولید اسنک حاوی PDBC شامل میزان رطوبت ۱۷/۴۵ درصد، PDBC ۲۱/۱۴ درصد، سرعت چرخش ماردون ۱۶۰ دور در دقیقه و درجه‌حرارت ۱۳۳/۲ درجهٔ سانتی‌گراد بود.

مقدمه

اسنک‌ها[1] به‌عنوان میان‌وعده، به‌دلیل خصوصیات بافتی و نیز دارابودن مواد طعمی و رنگ‌های جذاب سبب افزایش تمایل مصرف‌کنندگان گردیده است (Capriles *et al.*, 2009).

اکستروژن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های قرن بیستم در بین صنایع مختلف ازجمله صنایع پلیمر و مواد غذایی مطرح است. در طی فرایند اکستروژن مواد غذایی، حرارت و انرژی برشی سبب تغییرات ساختاری، شیمیایی و تغذیه‌ای نظیر ژلاتینیاسیون، دناتوراسیون پروتئین، اکسیداسیون لیپید، کاهش ویتامین‌ها، فاکتورهای ضدتغذیه‌ای و فیتوکمیکال‌ها[2]، تشکیل عطروطعم، افزایش دسترسی به مواد معدنی و فیبرهای رژیمی محلول می‌گردد

[1] Snacks

[2] Phytochemicals

(Riaz *et al.*, 2009).

باتوجه‌به نقش مواد اولیهٔ مصرفی در افزایش ارزش غذایی محصولات اکسترودشده و کاهش سوءتغذیه، محققین توجه خود را به تولید فراورده‌هایی با خواص سلامتی‌بخش و استفاده از فراورده‌های فرعی[۳] کارخانه‌های مواد غذایی نظیر تفالهٔ میوه‌ها، سبزیجات، کنجالهٔ دانه‌های روغنی و مغزهای خوراکی به‌دلیل غنی‌بودن این ترکیبات از جهت فیبرهای غذایی، آنتی‌اکسیدان‌ها، اسیدهای چرب ضروری، ترکیبات ضدمیکروبی، ویتامین‌ها و مواد معدنی و نقش آنها به لحاظ خواص تغذیه‌ای در فرمولاسیون اشاره نموده‌اند (Yagci *et al.*, 2009).

پستهٔ وحشی[۴] متعلق به خانوادهٔ *آناکاردیاسه*[۵] و دارای دوگونهٔ مهم *خنجوک*[۶] و *آتلانتیکا*[۷] می‌باشد (Saffarzadeh *et al.*, 1999). پستهٔ وحشی گونهٔ *آتلانتیکا* که در ایران به نام بنه شناخته می‌شود از ۳ قسمت مغز (۲۵ درصد)، پوستهٔ چوبی سفت (۵۱ درصد) و پوستهٔ خارجی نرم (۲۴ درصد) تشکیل شده است و میزان روغن مغز آن ۶۰ درصد می‌باشد. اسیدهای پالمتیک[۸] (۱۰/۸ درصد، ۱۶:۰) و استئاریک[۹] (۳ درصد، ۱۸:۰) اسیدهای چرب اشباع اصلی آن بشمار می‌روند و اسیدهای اولئیک[۱۰] (۴۹ درصد، ۱۸:۱) و لینولئیک[۱۱] (۳۳ درصد، ۱۸:۲) اسیدهای چرب غیراشباع اصلی هستند. روغن هستهٔ بنه غنی از اسیدلینولئیک و غلظت این اسید در پوستهٔ خارجی کمتر است. اسیداولئیک در برابر تخریب اکسایشی در درجه‌حرارت‌های بالا و نیز درجه‌حرارت‌های معمول نگهداری پایدار است (Warner & Knowlton, 1997). روغن مغز بنه به‌دلیل مقادیر بالای ترکیبات توکوفرولی (۸۱۸/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و فنلی (۸۱/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از پایداری اکسایشی بسیار بالایی برخوردار است (Farhoosh & Tavakoli, 2008).

کنجالهٔ مغزها، فراورده‌های جانبی بوده که بعد از استخراج روغن به‌دست‌آمده و به‌طور متوسط حاوی ۶۰-۴۵ درصد پروتئین، ۳۰-۲۲ درصد کربوهیدرات، ۷/۵- ۳/۸ درصد فیبرخام و ۶-۴ درصد مواد معدنی می‌باشد (Desai *et al.*, 1999; Gopalakrishhna, 2007).

تاکنون مطالعه‌های بسیاری پیرامون تولید محصولات اکسترودشده انجام شده است (Larrea *et al.*, 2005; Tahvonen *et al.*, 1998; Ng *et al.*, 1999; Mendonca *et al.*, 2000; Obatolu *et al.*, 2006; Altan *at al.*, 2008a,b; Yagci & Gogus, 2008; Khanal *et al.*, 2009; Omohimi *et al.*, 2014; Hashemi *et al.*, 2017).

هدف از این پژوهش بهینه‌سازی فرایند اکستروژن با استفاده از روش سطح پاسخ و بررسی اثر ویژگی‌های مواد ورودی (نسبت بنه به ذرت و مقدار رطوبت) و شرایط اکستروژن (درجه‌حرارت و سرعت چرخش ماردون) بر ارزیابی ماکروساختار (چگالی توده، نسبت انبساط)، ویژگی‌های عملکردی (شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب، شاخص جذب روغن) و بافت‌سنجی (سختی) محصول اسنک حجیم‌شده بنه بر پایهٔ ذرت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیهٔ مورد استفاده در این تحقیق شامل بنه و بلغور ذرت بود. بنهٔ تازه گونهٔ *آتلانتیکا* از استان خراسان رضوی، باغات شهرستان خواف و بلغور ذرت از فروشگاه عرضهٔ محصولات کشاورزی در مشهد تهیه شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

بنهٔ تازه گونهٔ *آتلانتیکا* بعد از خریداری، بوجاری شد و تا زمان استفاده در سردخانه با دمای زیر صفر (۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد) نگهداری شد. سپس بنه توسط دستگاه پرس سرد (مدل Screw Press KK40/F، Universal، Circle Energy، ساخت آلمان) روغن‌گیری و صاف شد. کنجالهٔ حاصل به‌وسیلهٔ آسیاب چکشی (مدل LP-187 Hammer Mill، ساخت آمریکا)، آسیاب و از الک (مش ۴۰) عبور داده شد. آنالیز ترکیبات شیمیایی کنجالهٔ بنه در جدول (۱) ارائه شده است. برای تعیین ترکیب شیمیایی شامل خاکستر، پروتئین خام، چربی خام از روش AOAC (۲۰۰۰) استفاده شد. مقادیر فیبر نامحلول در شویندهٔ خنثی (NDF[۱۲]) و فیبر نامحلول در شویندهٔ اسیدی (ADF[۱۳]) به روش Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شد.

[3] By-Product
[4] Wild pistachio
[5] Anacardiace
[6] Pistacia khinjuk
[7] Pistacia atlantica
[8] Palmitic acids
[9] Stearic acids
[10] Oleic acids
[11] Linoleic acids
[12] Neutral Detergent Fiber
[13] Acid Detergent Fiber

جدول ۱ - ترکیب شیمیایی PDBC

گونه	مادهٔ خشک (درصد)	پروتئین خام (درصد)	چربی خام (درصد)	خاکستر (درصد)	فیبر نامحلول در شویندهٔ خنثی (درصد)	فیبر نامحلول در شویندهٔ اسیدی (درصد)
بنه (پستهٔ وحشی گونهٔ *آتلانتیکا*)	۹۵/۰۲ ± ۰/۲۴	۲۵/۸۹ ± ۰/۲۶	۸/۵۳ ± ۰/۱۷	۵/۵۳ ± ۰/۰۶	۳۹/۴۲ ± ۰/۳۷	۱۵/۲۸ ± ۰/۳۱

PDBC[1] با نسبت‌های ۹۰:۱۰، ۸۰:۲۰ و ۷۰:۳۰ با بلغور ذرت که رطوبت آنها قبلاً توسط ترازوی رطوبت‌سنج مادون‌قرمز دیجیتالی (مدل MB90، Ohaus، ساخت سوئیس) اندازه‌گیری‌شده بود، مخلوط گردید. رطوبت مخلوط نمونه‌ها بین ۱۸-۱۲ درصد در نظر گرفته شد. پس از حدود ۱۵ دقیقه مخلوط‌کردن، نمونه به دستگاه اکسترودر جهت تولید اسنک منتقل شد.

به‌منظور فرمولاسیون و تهیهٔ نمونه‌های اسنک از اکسترودر دو ماردونه موجود در پایلوت اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد (مدل DS56، Jinan Saxin، ساخت چین) استفاده شد. میزان ورودی مواد به اکسترود ۴ کیلوگرم بر ساعت بود و مشخصات دستگاه عبارتند از طول ماردون: ۹۰ سانتی‌متر، قطر ماردون: ۶ سانتی‌متر، نسبت طول به قطر (L/D)، ۱۵، نوع قالب: فولادی و جهت چرخش ماردون، ساعتگرد.

محصول تولیدی به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط (۲±۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد) خنک‌شده و سپس در بسته‌بندی پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شد. به‌منظور بهینه‌سازی شرایط تولید اسنک حجیم‌شده، متغیرهای فرمول شامل رطوبت ورودی (۱۸-۱۲ درصد) و سطوح افزودن PDBC (۳۰-۱۰ درصد) و متغیرهای فرایندی شامل سرعت چرخش ماردون مارپیچ (۲۲۰-۱۲۰ دور در دقیقه) و درجه‌حرارت پخت (۱۸۰-۱۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) تعیین شدند. متغیرهای وابسته (پاسخ) در RSM شامل سختی بافت، نسبت انبساط، چگالی توده، ویژگی‌های عملکردی شاخص جذب آب (WAI[2])، شاخص جذب روغن (OAI[3]) و شاخص انحلال در آب (WSI[4])، بودند. سپس ساختار میکروسکوپی توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM[5]) مدل (LEO1450VP، ساخت آلمان) مورد بررسی قرار گرفت.

ارزیابی ماکروساختار اسنک

چگالی توده

برای اندازه‌گیری چگالی توده از روش جابجایی در ارزن استفاده شد. ابتدا با استفاده از یک استوانهٔ مدرج ۵۰۰ میلی‌لیتری چگالی تودهٔ ارزن تعیین شد بدین‌صورت‌که مقداری ارزن با جرم معین تا یک حجم ثابت در استوانه پر شد. در مرحلهٔ بعد ۵ عدد اسنک از هر تیمار ابتدا توزین و سپس در داخل استوانه قرار گرفت. سپس فضای خالی بین اسنک‌ها با ارزن پر شد. جرم ارزن اضافه‌شده به استوانه ازطریق رابطهٔ (۱) محاسبه گردید:

رابطهٔ (۱)

جرم ۵ عدد اسنک- جرم استوانه- جرم کل= جرم ارزن

در مرحلهٔ بعد حجم ارزن موجود در استوانه و حجم ۵ عدد اسنک با استفاده از رابطهای (۲) و (۳) تعیین شد:

رابطهٔ (۲)

$$\text{حجم ارزن} = \frac{\text{جرم ارزن}}{\text{چگالی توده ارزن}}$$

رابطهٔ (۳)

حجم ارزن- حجم کل= حجم ۵ عدد اسنک

درنهایت چگالی تودهٔ اسنک از تقسیم جرم اسنک بر حجم آن محاسبه شد (Stojceska *et al.*, 2008).

[1] Partially-Defatted Bene Cake
[2] Water Absorb Index
[3] Oil Absorbtion Index
[4] Water Solubility Index
[5] Scanning Electron Microscopy

نسبت انبساط[1]

از هر تیمار ۱۰ نمونه به‌طور تصادفی انتخاب و سپس با استفاده از میکرومتر دیجیتال (Mitutoyo، ساخت ژاپن) قطر هر نمونهٔ اسنک اندازه‌گیری شد. درنهایت میانگین قطر اسنک‌های مربوط به هر تیمار مشخص شد. نسبت انبساط که نشان‌دهندهٔ میزان انبساط نمونه می‌باشد ازطریق تقسیم قطر نمونه بر قطر قالب اکسترودر (۳ میلی‌متر) به‌دست آمد (Rayas *et al*., 1998).

آزمون بافت‌سنجی

برای اندازه‌گیری سختی محصول از دستگاه بافت سنج (TAXT plus، ساخت کانادا) استفاده شد. روند آزمایش براساس سرعت نفوذ پروب استوانه‌ای‌شکل با قطر ۲ میلی‌متر به داخل هر نمونهٔ اسنک منفرد با سرعت ثابت ۱ میلی‌متر در ثانیه و اندازه‌گیری حداکثر نیروی لازم (برحسب نیوتن) جهت نفوذ ۸ میلی‌متری (عمق نفوذ) این پروب در بافت محصول بود. از هر تیمار تعداد ۱۰ نمونه اسنک به‌طور تصادفی انتخاب شد تا با استفاده از تکرار بالا امکان خطای اندازه‌گیری کاهش یابد. درنهایت بیشینهٔ نیروی واردشده برحسب نیوتن توسط دستگاه بافت‌سنج (TX plus، ساخت انگلستان) به‌عنوان سختی اعلام گردید (Stojceska *et al*., 2008).

ویژگی‌های عملکردی

شاخص جذب آب و حلالیت در آب

شاخص جذب آب ازطریق سانتریفیوژکردن و با استفاده از روش Anderson و همکاران (۱۹۶۹) اندازه‌گیری شد. ۱ گرم از نمونه‌های اسنک، به ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر، درون لوله‌های سانتریفیوژ که از قبل وزن شده‌اند، افزوده گردید؛ آنگاه به‌مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از شیکر هم‌زده‌شده، سپس با استفاده از سانتریفیوژ (Sigma، D37520 Osterode am Harz، ساخت آلمان) به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد در سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه جداسازی انجام گردید. سپس محلول رویی را به درون پتری‌دیش انتقال داده و ژل باقی‌مانده را وزن نموده و خصوصیت جذب آب به‌وسیلهٔ رابطهٔ (۴) محاسبه شد:

رابطهٔ (۴)

وزن نمونه/وزن ژل باقی‌مانده= شاخص جذب آب

جهت اندازه‌گیری شاخص حلالیت در آب، مایع رویی حاصل از عملیات سانتریفیوژ به درون پتری‌دیش (توزین‌شده از قبل) منتقل سپس به درون آون انتقال یافت و در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. در پایان مقدار مادهٔ خشک باقی‌مانده توزین شد و با استفاده از رابطهٔ (۵) حلالیت در آب محاسبه گردید:

رابطهٔ (۵)

=شاخص حلالیت در آب

وزن نمونهٔ خشک‌شده/وزن مادهٔ خشک حاصل از آون‌گذاری

شاخص جذب روغن

شاخص جذب روغن با مخلوط‌کردن ۱ گرم نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر روغن‌ذرت (چگالی ۰/۹۲ گرم براساس مترمکعب در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) درون یک لولهٔ ۱۵ میلی‌لیتری سانتریفیوژ انجام گردید. سپس نمونه‌ها با ورتکس به‌مدت ۱ دقیقه به‌منظور یکنواختی و اختلاط کامل با روغن هم‌زده شدند و پس از آن به‌مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. آنگاه به‌مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه روغن جداشده با پیپت خارج‌شده و به‌منظور خروج کامل روغن اضافی لوله‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه به‌صورت معکوس قرار گرفتند و پس از آن نمونه‌ها مجدداً توزین شدند. ظرفیت جذب آب و روغن به‌صورت گرم آب یا گرم روغن باندشده به‌وسیلهٔ یک گرم از نمونه بر مبنای وزن خشک گزارش گردید (Anderson *et al*., 1969) (رابطهٔ ۶).

رابطهٔ (۶)

= شاخص جذب روغن

وزن نمونه برحسب گرم/حجم روغن جذب‌شده برحسب میلی‌لیتر

طرح آماری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها جهت بهینه‌سازی شرایط تولید اسنک

در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی متمرکزشده

[1] Expansion Ratio

(FCCD[1]) با ۴ متغیر مستقل، ۳ سطح و ۶ تکرار در نقطهٔ مرکزی طرح (به‌منظور بررسی تکرارپذیری طرح) استفاده گردید، به‌طوری‌که مجموع کل تیمارها ۳۰ تیمار شد. متغیرهای مستقل شامل PDBC (درصد)، سرعت چرخش ماردون مارپیچ (دور در دقیقه)، رطوبت ورودی (درصد) و درجه‌حرارت اکستروژن (درجهٔ سانتی‌گراد) بود، همچنین متغیرهای وابسته (پاسخ) اندازه‌گیری‌شده شامل سختی بافت، نسبت انبساط، چگالی توده و ویژگی‌های عملکردی (شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب، شاخص جذب روغن) بودند. حد بالا و پایین محدوده درنظرگرفته‌شده به شکل حقیقی (غیرکدبندی‌شده) برای PDBC جهت بررسی اثر متغیرهای آزمایش استفاده شد (جدول ۲). مقادیر متغیرهای مستقل مورد ارزیابی در این پژوهش که شامل رطوبت خوراک ۱۸-۱۲ درصد (وزنی/وزنی) سطوح افزودن PDBC ۳۰-۱۰ درصد (وزنی/وزنی)، سرعت چرخش ماردون مارپیچ ۲۲۰-۱۲۰ (دور در دقیقه) و درجه‌حرارت پخت ۱۸۰-۱۲۰ (درجهٔ سانتی‌گراد) بود. پس از برازش مدل درجهٔ دوم کامل[2]، رابطهٔ به‌دست‌آمده در معرض الگوریتم حذف پسخور[3] قرار گرفتند. با استفاده از الگوریتم مذکور، جمله‌های مدل که ازنظر آماری در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نبودند، حذف شدند و درنتیجه تعداد جمله‌های مدل کاهش داده شد. شکل‌های سه‌بُعدی (منحنی‌های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطهٔ میان پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل رسم شد. بهینه‌سازی شرایط فرایند و فرمولاسیون با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار Design Expert نسخهٔ ۶.۰.۲ انجام گرفت.

جدول ۲ - سطوح افزودن متغیرهای مستقل

متغیر مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		+۱	۰	−۱
آرد کنجالهٔ بنه (PDBC) (w/w) درصد	A	۳۰	۲۰	۱۰
سرعت چرخش ماردون مارپیچ (دور در دقیقه)	C	۲۲۰	۱۶۰	۱۲۰
درجه‌حرارت پخت (سانتی‌گراد)	D	۱۸۰	۱۴۰	۱۲۰
رطوبت خوراک ورودی (درصد)	B	۱۸	۱۵	۱۲

نتایج و بحث

همان‌طورکه در جدول (۳) مشاهده می‌شود، مدل خطی برای نسبت انبساط ازنظر آماری معنی‌دار بود (P<۰/۰۰۰۱). به‌علاوه، آزمون ضعف برازش معنی‌دار نمی‌باشد (P>۰/۰۵). این نتایج مناسب‌بودن مدل برازش‌یافته درمورد نسبت انبساط را نشان می‌دهد. مقدار بالای R^2=۰/۹۷۰۰ و متناسب‌بودن مقدار $R^2_{Adjusted}$ و $R^2_{Predicted}$ که به‌ترتیب برابر ۰/۹۶۵۲ و ۰/۹۶۲۳ هستند، بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی است.

مطابق جدول (۳)، مدل ارائه‌شده برای چگالی توده ازنظر آماری معنی‌دار بوده است (P<۰/۰۰۰۱). باتوجه‌به این نتیجه و همچنین معنی‌دارنبودن آزمون ضعف برازش (P>۰/۰۵) چنین استنباط می‌شود که مدل خطی، مدل مناسبی در مورد این متغیر وابسته می‌باشد. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان پودر کنجالهٔ بنه (A و P<۰/۰۰۰۱)، سرعت چرخش ماردون (C و P<۰/۰۰۳۲) و درجه‌حرارت (D و P<۰/۰۱۷۶) بودند. مقدار R^2، $R^2_{Adjusted}$ و $R^2_{Predicted}$ این مدل به‌ترتیب ۰/۹۲۶۹، ۰/۹۱۸۵ و ۰/۹۱۴۳ بودند که بالابودن این مقادیر و تناسب آنها با یکدیگر تأییدکنندهٔ قدرت بالای مدل می‌باشد.

همان‌طورکه در جدول (۳) مشاهده می‌شود، مدل خطی برای شاخص انحلال در آب ازنظر آماری معنی‌دار بوده (P<۰/۰۰۰۱)، درعین‌حال، آزمون ضعف برازش معنی‌دار نمی‌باشد (P>۰/۰۵). این نتایج مناسب‌بودن مدل برازش‌یافته در مورد شاخص انحلال در آب را نشان می‌دهد. مقدار بالای R^2=۰/۹۵۳۸ و متناسب‌بودن مقدار $R^2_{Adjusted}$=۰/۹۴۸۵ و $R^2_{Predicted}$=۰/۹۴۲۸، بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد.

1 Factorial Central Composite Designs

2 Full Quadratic

3 Backward Elimination

مطابق جدول (۳)، مدل ارائه‌شده برای شاخص جذب آب ازنظر آماری معنی‌دار بوده است (P<۰/۰۰۰۱). باتوجه‌به این نتیجه و همچنین معنی‌دارنبودن آزمون ضعف برازش (P>۰/۰۵) چنین استنباط می‌شود که مدل خطی، مدل مناسبی در مورد این متغیر وابسته می‌باشد. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان پودر کنجالهٔ بنه (A و P<۰/۰۰۰۱)، سرعت چرخش ماردون (C و P<۰/۰۳۳۸)، رطوبت ورودی (B و P<۰/۰۰۰۱) و درجه‌حرارت (D و P<۰/۰۰۰۹) بودند (جدول ۴). مقدار R^2=۰/۹۷۶۰، $R^2_{Adjusted}$=۰/۹۷۲۱ و $R^2_{Predicted}$=۰/۹۶۸۲ که بالابودن این مقادیر و تناسب آنها با یکدیگر تأییدکنندهٔ قدرت بالای مدل می‌باشد.

همان‌طورکه در جدول (۳) مشاهده می‌شود، مدل خطی برای شاخص جذب روغن ازنظر آماری معنی‌دار بوده (P<۰/۰۰۰۱) و همچنین آزمون ضعف برازش معنی‌دار نمی‌باشد (P>۰/۰۵). این نتایج مناسب‌بودن مدل برازش‌یافته در مورد شاخص جذب روغن را نشان می‌دهد. مقدار بالای R^2=۰/۹۶۴۰ و متناسب‌بودن مقدار $R^2_{Adjusted}$=۰/۹۵۸۲ و $R^2_{Predicted}$=۰/۹۵۳۳، بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد.

مطابق جدول (۳)، مدل ارائه‌شده برای شاخص سختی ازنظر آماری معنی‌دار بوده است (P<۰/۰۰۰۱). باتوجه‌به این نتیجه و همچنین معنی‌دارنبودن آزمون ضعف برازش (P>۰/۰۵) چنین استنباط می‌شود که مدل خطی، مدل مناسبی در مورد این متغیر وابسته می‌باشد. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان پودر کنجالهٔ بنه (A و P<۰/۰۰۰۱)، سرعت چرخش ماردون (C و P<۰/۰۰۰۱)، رطوبت ورودی (B و P<۰/۰۰۷۳) و درجه‌حرارت (D و P<۰/۰۰۰۱) بودند (جدول ۴). مقدار R^2=۰/۹۷۳۴، $R^2_{Adjusted}$=۰/۹۷۱۱ و $R^2_{Predicted}$=۰/۹۷۷۱ که بالا بودن این مقادیر و تناسب آنها با یکدیگر تأییدکنندهٔ قدرت بالای مدل می‌باشد.

جدول ۳ - نتایج تجزیهٔ واریانس (ANOVA) پاسخ‌های اندازه‌گیری‌شده

منبع	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
نسبت انبساط					
مدل	۲۶/۰۴	۴	۶/۵۱	۲۰۱/۸۷	۰/۰۰۰۱
A (آرد کنجالهٔ بنه (PDBC))	۲۳/۹۹	۱	۲۳/۹۹	۷۴۴/۰۱	۰/۰۰۰۱
B (درصد رطوبت ورودی)	۰/۱۷	۱	۰/۱۷	۵/۳۴	۰/۰۲۹۴
C (سرعت چرخش ماردون)	۱/۲۷	۱	۱/۲۷	۳۹/۳۷	۰/۰۰۰۱
D (درجه‌حرارت)	۰/۶۰	۱	۰/۶۰	۱۸/۷۶	۰/۰۰۰۲
ضعف برازش	۰/۵۴	۲۰	۰/۰۲۷	۰/۵۲	۰/۸۷۶۳
خطا	۰/۲۶	۵	۰/۰۵۳	-	-
چگالی توده					
مدل	۰/۰۲۵	۳	۸/۱۲۲۲×۱۰$^{-۳}$	۱۰۹/۹۶	۰/۰۰۰۱
A (آرد کنجالهٔ بنه (PDBC))	۰/۰۲۳	۱	۰/۰۲۳	۳۱۲/۹۳	۰/۰۰۰۱
C (سرعت چرخش ماردون)	۷/۸۶۷×۱۰$^{-۴}$	۱	۷/۸۶۷×۱۰$^{-۴}$	۱۰/۵۲	۰/۰۰۳۲
D (درجه‌حرارت)	۴/۸۰۵×۱۰$^{-۴}$	۱	۴/۸۰۵×۱۰$^{-۴}$	۶/۴۳	۰/۰۱۷۶
ضعف برازش	۱/۳۲۳×۱۰$^{-۳}$	۲۱	۶/۲۹۹×۱۰$^{-۵}$	۰/۵۱	۰/۸۷۵۲
خطا	۶/۲۱۳×۱۰$^{-۴}$	۵	۱/۲۴۳×۱۰$^{-۴}$	-	-
شاخص انحلال در آب					
مدل	۱۸۲۴/۱۸	۳	۶۰۸/۰۶	۱۷۹/۰۷	۰/۰۰۰۱
A (آرد کنجالهٔ بنه (PDBC))	۱۶۸۵/۸۷	۱	۱۶۸۵/۸۷	۴۹۶/۴۸	۰/۰۰۰۱
B (درصد رطوبت ورودی)	۱۰۶/۵۸	۱	۱۰۶/۵۸	۴۹۶/۴۸	۰/۰۰۰۱
D (درجه‌حرارت)	۳۱/۷۳	۱	۳۱/۷۳	۹/۳۵	۰/۰۰۵۱
ضعف برازش	۷۰/۸۵	۲۱	۳/۳۷	۰/۹۷	۰/۵۷۶۴
خطا	۱۷/۴۴	۵	۳/۴۹	-	-
شاخص جذب آب					
مدل	۲۵/۷۷	۴	۶/۴۴	۲۵۳/۷۳	۰/۰۰۰۱
A (آرد کنجالهٔ بنه (PDBC))	۲۳/۶۶	۱	۲۳/۶۶	۹۳۱/۹۲	۰/۰۰۰۱

ادامهٔ جدول ۳ - نتایج تجزیهٔ واریانس (ANOVA) پاسخ‌های اندازه‌گیری‌شده

منبع	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
B (درصد رطوبت ورودی)	۱/۶۲	۱	۱/۶۲	۶۳/۷۵	۰/۰۰۰۱
C (سرعت چرخش ماردون)	۰/۱۳	۱	۰/۱۳	۵/۰۴	۰/۰۳۳۸
D (درجه‌حرارت)	۰/۳۶	۱	۰/۳۶	۱۴/۲۱	۰/۰۰۰۹
ضعف برازش	۰/۴۷	۲۰	۰/۰۲۴	۰/۷۳	۰/۷۲۳۳
خطا	۰/۱۶	۵	۰/۰۳۲	-	-
شاخص جذب روغن					
مدل	۲۷/۹۷	۴	۶/۹۹	۱۶۷/۱۶	۰/۰۰۰۱
A (آرد کنجاله بنه (PDBC))	۲۴/۶۶	۱	۲۴/۶۶	۵۸۹/۵۶	۰/۰۰۰۱
B (درصد رطوبت ورودی)	۲/۴۱	۱	۲/۴۱	۵۷/۵۰	۰/۰۰۰۱
C (سرعت چرخش ماردون)	۰/۳۰	۱	۰/۳۰	۷/۲۱	۰/۰۱۲۷
D (درجه‌حرارت)	۰/۶۰	۱	۰/۶۰	۱۴/۳۷	۰/۰۰۰۸
ضعف برازش	۰/۷۸	۲۰	۰/۰۳۹	۰/۷۲	۰/۷۲۹۰
خطا	۰/۲۷	۵	۰/۰۳۲	-	-
سختی					
مدل	۲۱/۹۸	۴	۵/۴۹	۲۶۶/۳۳	۰/۰۰۰۱
A (آرد کنجالهٔ بنه (PDBC))	۱۹/۹۷	۱	۱۹/۹۷	۹۶۸/۱۱	۰/۰۰۰۱
B (درصد رطوبت ورودی)	۰/۱۸	۱	۰/۱۸	۸/۵۳	۰/۰۰۷۳
C (سرعت چرخش ماردون)	۱/۱۹	۱	۱/۱۹	۵۷/۷۳	۰/۰۰۰۱
D (درجه‌حرارت)	۰/۶۴	۱	۰/۶۴	۳۰/۹۵	۰/۰۰۰۱
ضعف برازش	۰/۳۵	۲۰	۰/۰۱۷	۰/۵۲	۰/۸۶۴۸
خطا	۰/۱۷	۵	۰/۰۳۳	-	-

اثرات متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند بر چگالی توده و نسبت انبساط اسنک حاوی PDBC

بررسی اثر PDBC

در پژوهش حاضر با افزایش سطح PDBC از ۱۰ تا ۳۰ درصد به فرمولاسیون محصول اکسترودشده بر پایهٔ بلغور ذرت نسبت انبساط کاهش و میزان چگالی تودهٔ محصول افزایش یافت که به نظر می‌رسد علت آن افزایش مقدار فیبر موجود در PDBC و تأثیر فیبر در ایجاد سوراخ در دیواره و جلوگیری از تشکیل و گسترش سلول هوایی باشد (شکل ۱-الف). افزایش مقدار فیبر در محصولات اکسترودشده سبب ایجاد ساختاری متراکم و کاهش اندازهٔ سلول‌های هوایی، افزایش تعداد سوراخ‌ها در دیوارهٔ سلولی و بنابراین کاهش میزان انبساط و افزایش دانسیتهٔ توده گردید (Altan *at al.*, 2008a).

چگالی توده به‌طور مستقیم با انبساط محصولات اکسترودشده ارتباط دارد و پارامتر بسیار مهمی در تولید محصولات حجیم و شکل‌داده‌شده بشمار می‌رود (Koksel *et al.*, 2003). انبساط و تشکیل بافت محصولات اکسترودشده فرایند پیچیده‌ای است که به خواص ویسکوالاستیک مواد مذاب، مکانیسم تشکیل و رشد حباب، خواص نرم‌کنندگی[1] آب در انتقال از فاز مایع (سیال) به ویسکوالاستیک و سپس حالت شیشه‌ای بستگی دارد (Arhaliass *et al.*, 2003). چگالی توده و نسبت انبساط رابطهٔ معکوسی با هم دارند. به‌طوری‌که با افزایش نسبت انبساط در یک محصول اکسترودشده میزان چگالی توده کاهش می‌یابد (Koksel *et al.*, 2003). پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای نظیر فیبرها می‌توانند در طی فرایند اکستروژن اتصال قوی‌تری نسبت به پروتئین و نشاسته با آب برقرار کنند و این اتصال می‌تواند با محدودکردن آب دردسترس سبب کاهش میزان انبساط و احتمالاً افزایش چگالی توده گردد (Camire & king, 1991).

یافته‌های حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعهٔ Lue و همکاران (۱۹۹۱) روی چگالی تودهٔ محصول اکسترودشده حاوی تفالهٔ انگور که با افزایش درصد سطوح تفالهٔ مصرفی مقدار فیبر افزایش و بنابراین منجربه پارگی دیوارهٔ سلولی قبل از تشکیل حباب گاز گردید، مطابقت دارد.

[1] Plasticizer

در تحقیقی مشابه توسط Chang و همکاران (۱۹۹۸) به بررسی اثر آرد جاتوبا[2] در فرمولاسیون محصول اکسترودشده بر پایهٔ نشاستهٔ کاساوا پرداخته و نتایج نشان‌داد که میزان انبساط فراوردهٔ اکسترودشده کاهش‌یافته و علت آن را افزایش میزان فیبر آرد جانوبا و کاهش میزان نشاسته و تأثیر آن بر افزایش ویسکوزیتهٔ مواد مذاب و محدودیت انبساط اعلام نمودند.

Sun و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی محصولات اکسترودشده حاوی آرد سویای چربی‌گیری‌شده پرداخته و نتایج نشان‌داد با افزایش درصد سطوح آرد سویای چربی‌گیری‌شده از ۱۰ به ۳۰ درصد به‌دلیل افزایش میزان فیبر اندازهٔ سلول‌های هوایی کاهش و ازطرفی تعداد حفره‌ها در سلول هوایی افزایش‌یافته که منجربه تراکم بافت و افزایش چگالی توده گردید.

بررسی تأثیر رطوبت

در پژوهش حاضر، با افزایش میزان رطوبت، نسبت انبساط کاهش یافت (شکل ۱–ج). افزایش میزان رطوبت سبب کاهش الاستیسیتهٔ خمیر ازطریق نرم‌کردن مواد مذاب و کاهش درجه‌حرارت می‌شود؛ زیرا افزایش رطوبت سبب کاهش اصطکاک بین خمیر و ماردون و جدار داخلی اکسترودر می‌شود و درنتیجه نسبت انبساط را کاهش می‌دهد. همچنین کاهش میزان رطوبت سبب افزایش میزان برش می‌شود که این امر به‌نوبهٔ‌خود موجب افزایش نسبت انبساط می‌شود، زیرا نسبت انبساط تابعی از میزان برش می‌باشد (Altan & Maskan, 2011).

بررسی تأثیر درجه‌حرارت و سرعت چرخش ماردون

در پژوهش حاضر با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۱۲۰ به ۲۲۰ دور در دقیقه و با افزایش دما از ۱۲۰ به ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد در تولید محصول اکسترودشده بر پایهٔ بلغور ذرت و حاوی PDBC به‌ترتیب سبب کاهش میزان چگالی توده و افزایش نسبت انبساط گردید و علت احتمالی مربوط به نقش برشی ماردون در کاهش ویسکوزیتهٔ مواد مذاب و دما در افزایش فشار بخار آب بود (شکل ۱–الف و ۱–ب؛ ۲–الف و ۲–ب).

به‌طورکلی سرعت چرخش ماردون دارای اثر مثبتی بر انبساط بوده، به‌عبارتی افزایش سرعت چرخش ماردون سبب افزایش میزان برش و بنابراین کاهش ویسکوزیتهٔ ذوب می‌گردد (Kokini *et al.*, 1992). سرعت چرخش ماردون کم مرتبط با زمان باقی‌ماندن بالای مواد در بدنهٔ اکسترودر بوده، به‌عبارتی مواد غذایی انرژی حرارتی بالایی در محیط با برش کم دریافت می‌کنند. انرژی حرارتی بالا دربارهٔ زمان باقی‌ماندن بالای مواد در اکسترودر منجربه ایجاد و تقویت سطح بالای بخار فوق داغ‌شده و بنابراین انبساط خوبی در محصول ایجاد و ساختار متخلخلی تولید و محصول سبک‌تر می‌شود (Bhattacharya, 1997).

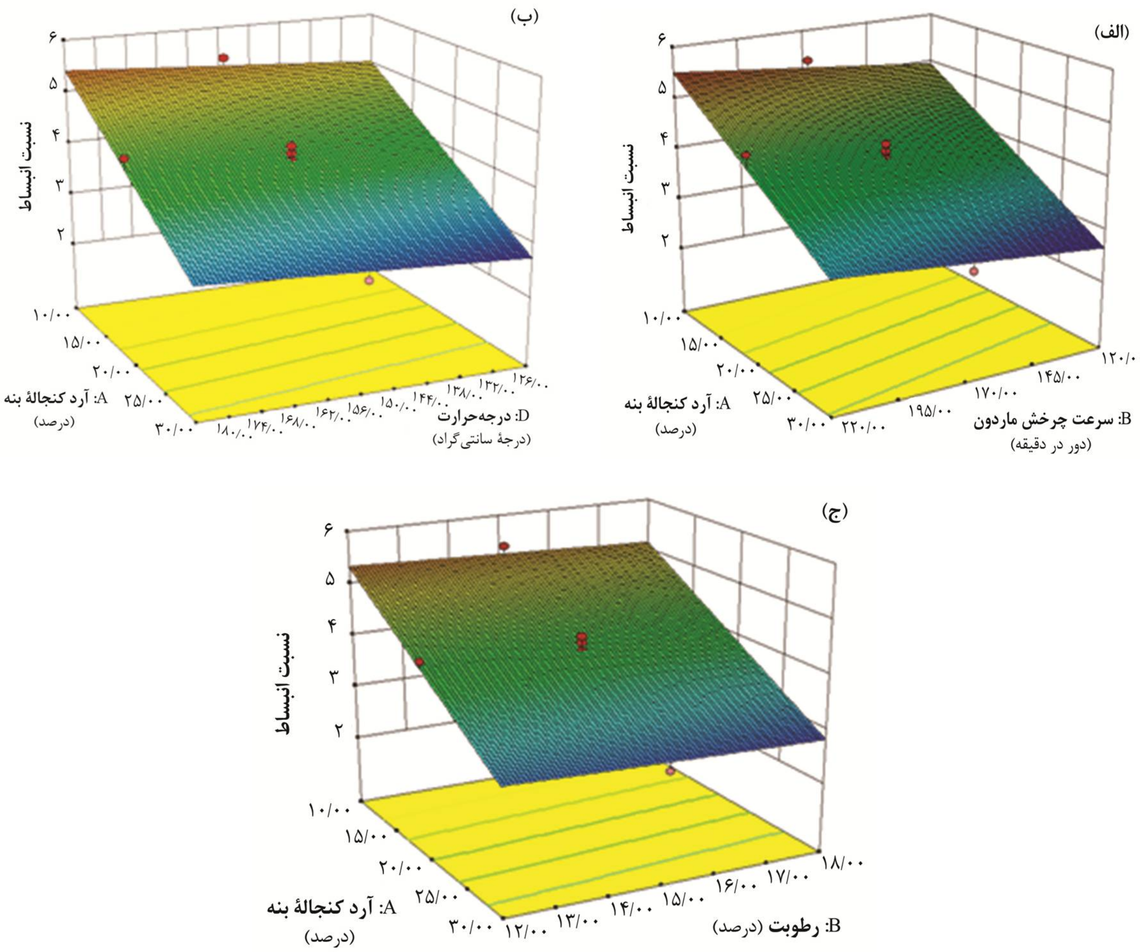
به‌طورکلی سرعت چرخش ماردون و درجه‌حرارت اثر متفاوتی بر نسبت انبساط و چگالی تودهٔ محصولات اکسترودشده دارند و اثرات این دو متغیر وابسته به یکدیگرند. افزایش درجه‌حرارت سبب افزایش درجهٔ فوق داغ آب در اکسترودر و رشد و تشکیل حباب و کاهش در ویسکوزیتهٔ مواد مذاب گردیده و چگالی تودهٔ محصول اکسترودشده کاهش می‌یابد (Ding *et al.*, 2006).

اثر کاهشی درجه‌حرارت روی چگالی تودهٔ محصولات اکسترودشده ممکن است ناشی از اثر ترکیبی درجه‌حرارت بالا و مقدار نسبتاً بالای فیبرهای نامحلول بوده که احتمالاً سبب افزایش فشار داخلی اکسترودر و کاهش ویسکوزیتهٔ مواد مذاب و الاستیسیته و پلاستیسیتهٔ خمیر می‌گردد. افزایش نیروی برشی در اکسترودر سبب افزایش میزان پف‌کردن محصولات اکسترودشده می‌شود، بنابراین کاهش چگالی تودهٔ محصولات را به همراه خواهد داشت (Hsieh *et al.*, 1989). چگالی توده در سرعت چرخش ماردون بالا کاهش می‌یابد. علت این امر احتمالاً مربوط به تشدید اثر حرارت روی مواد مذاب داخل اکسترودر به‌دلیل کاهش زمان تماس مواد مذاب با حرارت در اکسترودر و افزایش میزان ژلاتیناسیون و تولید محصولی اکسترودشدهٔ سبک و متخلخل می‌گردد (Li *et al.*, 2005).

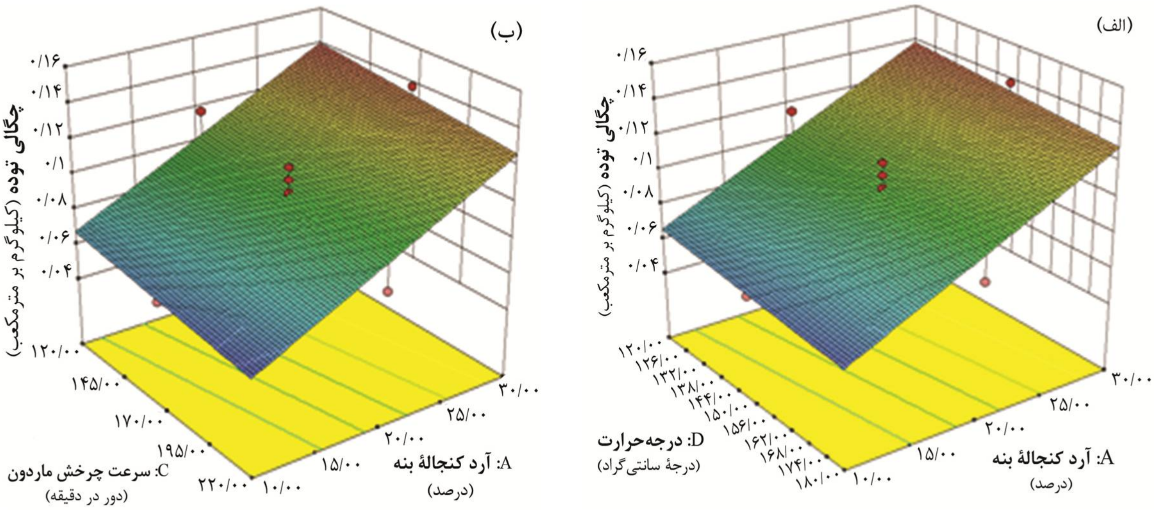
[2] Janoba

افزایش درجه‌حرارت سبب افزایش دمای بخار آب در اکسترودر و تسریع در تشکیل حباب و ازطرفی کاهش ویسکوزیتهٔ مواد مذاب و دانسیتهٔ تودهٔ محصول می‌گردد (Ding *et al.*, 2006). افزایش درجه‌حرارت در اکسترودر طی فرایند اکستروژن سبب نازک‌ترشدن ضخامت دیوارهٔ سلولی و افزایش نسبت انبساط محصول می‌گردد (Lazou *et al.*, 2010). افزایش میزان انبساط در مورد افزایش دما مربوط به درجهٔ ژلاتیناسیون بوده درحالی‌که کاهش انبساط در دمای بالاتر ناشی از تجزیهٔ مولکولی نشاسته می‌باشد (Chinnaswamy *et al.*, 1988). ازجمله دلایل کاهش انبساط در درجه‌حرارت بالاتر، تخریب سریع‌تر حباب بعد از انبساط اولیه در خروجی اکسترودر می‌باشد. در درجه‌حرارت‌های بالاتر ویسکوزیتهٔ مواد مذاب کاهش‌یافته و رشد حباب تسهیل‌شده اما به‌دلیل نازک‌شدن دیواره، حباب تحمل فشار بخار داخلی را نداشته و تخریب می‌شود.

نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعهٔ Seker (۲۰۰۵) روی دانسیتهٔ تودهٔ محصول اکسترودشده حاوی پروتئین سویا و همچنین تحقیقی مشابه توسط Jin و همکاران (۱۹۹۵) و Yagci و Gogus (۲۰۰۸) روی دانسیتهٔ تودهٔ محصول اکسترودشده حاوی فیبر سویا و برنج که همراه با افزایش دما و سرعت چرخش ماردون میزان دانسیتهٔ توده کاهش و نسبت انبساط افزایش یافته است، مطابقت دارد.



شکل ۱ - نمودار سطح پاسخ نسبت انبساط؛ الف- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- سرعت چرخش ماردون، ب- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- درجه‌حرارت، ج- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- رطوبت



شکل ۲ - نمودار سطح پاسخ چگالی توده؛ الف- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- درجه‌حرارت، ب- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- سرعت چرخش ماردون

اثرات متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند بر شاخص جذب آب و شاخص انحلال در آب اسنک حاوی PDBC

بررسی اثر PDBC

در تحقیق حاضر با افزایش درصد PDBC شاخص جذب آب کاهش یافت (شکل ۳) و علت احتمالی آن مربوط به وجود ترکیبات فیبری نامحلول، عدم دسترسی گروه‌های آب‌دوستی به مولکول‌های آب و همچنین کاهش نسبی در مقدار نشاسته ناشی از افزودن درصد PDBC در فرمول بوده است. ازطرفی شاخص انحلال در آب با افزایش درصد PDBC، طی فرایند اکستروژن در اثر نیروی برشی اعمال‌شده بخشی از ترکیبات فیبری نامحلول به ترکیباتی با وزن مولکولی کم افزایش یافت (شکل ۴). شاخص جذب آب به دسترسی گروه‌های آب‌دوست و برقراری پیوند با مولکول‌های آب ارتباط دارد و ظرفیت درشت مولکول‌ها را در تشکیل ژل مشخص می‌نماید (Gomez & Aguilera, 1983). شاخص جذب آب معرف میزان ژلاتیناسیون است. درجه‌حرارت و رطوبت ورودی در اکسترودر بیشترین اثر را بر میزان این شاخص در محصولات اکسترودشده دارند (Ding *et al.*, 2006). شاخص انحلال قدرت یا میزان تورم گرانول‌ها و تجزیهٔ مولکولی بوده و بیانگر میزان پلی‌ساکاریدهای محلول آزادشده از اجزاء نشاستهٔ بعد از اکستروژن و تولید ترکیباتی با وزن مولکولی کم می‌باشد (Stojceska *et al.*, 2008). در فرایند ژلاتیناسیون، نشاسته دارای ظرفیت نگهداری آب بیشتری نسبت به بخش فیبری نظیر سلولز و همی‌سلولز بوده و جایگزینی بخشی از فراورده‌های جانبی کشاورزی حاوی فیبر در فرمولاسیون سبب کاهش نسبی مقدار نشاسته و رقابت در جذب آب گردیده و ازطرفی ترکیبات فیبری موجود طی فرایند اکستروژن به ترکیباتی با وزن مولکولی کم تبدیل‌شده و درنتیجه میزان شاخص انحلال در آب افزایش و شاخص جذب آب کاهش می‌یابد (Altan *at al.*, 2008a).

نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعهٔ Colonna و همکاران (۱۹۸۹) روی شاخص جذب آب در محصول اکسترودشدهٔ برنج حاوی آرد کنجالهٔ روغن‌گیری‌شدهٔ بادام‌زمینی که در آن با افزودن درصد آن میزان شاخص جذب آب به‌دلیل کاهش دسترسی به مولکول‌های آب و نفوذ آن میزان تجزیهٔ مولکول نشاسته کاهش یافته و بر ژلاتیناسیون نشاسته در اکسترودر تأثیر گذاشته و سبب کاهش جذب آب و افزایش شاخص انحلال در آب گردید، مطابقت دارد. در پژوهشی مشابه توسط Gujska و Khan (۱۹۹۱)

روی محصول اکسترودشده حاوی ذرت و آرد لوبیا پینتو[1] نیز مشخص شد. با افزودن میزان پوسته، به‌دلیل فیبر نامحلول بالا در آن و همچنین کاسته‌شدن از میزان نشاستهٔ اولیه در فرمولاسیون، از میزان جذب آب و ژلاتیناسیون کاسته‌شده و بخشی از ترکیبات فیبری موجود نامحلول به ترکیباتی با وزن مولکولی کم شکسته‌شده و درنتیجه میزان شاخص جذب آب کاهش و شاخص انحلال افزایش یافت. در پژوهشی مشابه توسط Singh و همکاران (۲۰۰۷) روی محصول اکسترودشده بر پایهٔ برنج و حاوی بلغورنخود با افزودن سطوح بلغورنخود مصرفی میزان شاخص جذب آب کاهش و شاخص انحلال در آب افزایش یافت و علت آن را کاهش میزان نشاسته و افزایش میزان سبوس موجود در بلغورنخود در فرمولاسیون دانستند.

بررسی اثر درجه‌حرارت و سرعت چرخش ماردون

در پژوهش حاضر با افزایش دما، شاخص جذب آب کاهش یافت (شکل ۳-ج). علت این امر احتمالاً تجزیهٔ نشاسته بوده است. در تحقیقی مشابه، Hashimoto و Grossmann (۲۰۰۳) اعلام کردند با افزایش درجه‌حرارت از ۱۵۰ به ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد شاخص جذب آب محصول اکسترودشده حاوی نشاستهٔ کاساوا و سبوس آن کاهش یافت که علت آن را به اثر تخریبی درجه‌حرارت‌های بالا در تجزیهٔ مولکول‌های نشاسته نسبت دادند.

در تحقیق حاضر شاخص جذب آب در محصول اکسترودشده با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۱۲۰ به ۲۲۰ دور در دقیقه، کاهش یافت (شکل ۴-ب). علت آن احتمالاً مربوط به تغییر در ساختار کنجالهٔ بنه ناشی از اثر سرعت چرخش ماردون و صدمه به زنجیرهٔ پلیمری و ازطرفی کاهش دسترسی گروه‌های هیدروفیلی به مولکول آب و کاهش زمان تماس مواد موجود در اکسترودر جهت ژلاتیناسیون بود (Gomez & Aguilera, 1983; Guha *et al.*, 1997).

در این پژوهش، افزایش دما احتمالاً سبب افزایش درجهٔ ژلاتیناسیون نشاسته شده است که این امر منجربه‌افزایش میزان نشاستهٔ محلول گردید و درنتیجه شاخص انحلال در آب افزایش یافت (شکل ۴-ب). علاوه‌بر این، می‌توان افزایش شاخص انحلال در آب را به افزایش میزان نشاستهٔ دکسترینیزه‌شده[2] طی اکستروژن نسبت داد (Altan & Maskan, 2011).

نتایج حاصل از این تحقیق با یافتهٔ تحقیق Badrie و Mellowes (۱۹۹۱) روی محصول اکسترودشده بر پایهٔ ذرت حاوی کاساوا مطابقت دارد که در آن با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۴۲۵ تا ۵۲۵ دور در دقیقه میزان شاخص جذب آب کاهش یافت و علت آن را به افزایش میزان برش و تغییر در ساختار مولکولی مخلوط خمیری در اکسترودر و کاهش زمان تماس مواد با دما در اکسترودر اعلام نمودند.

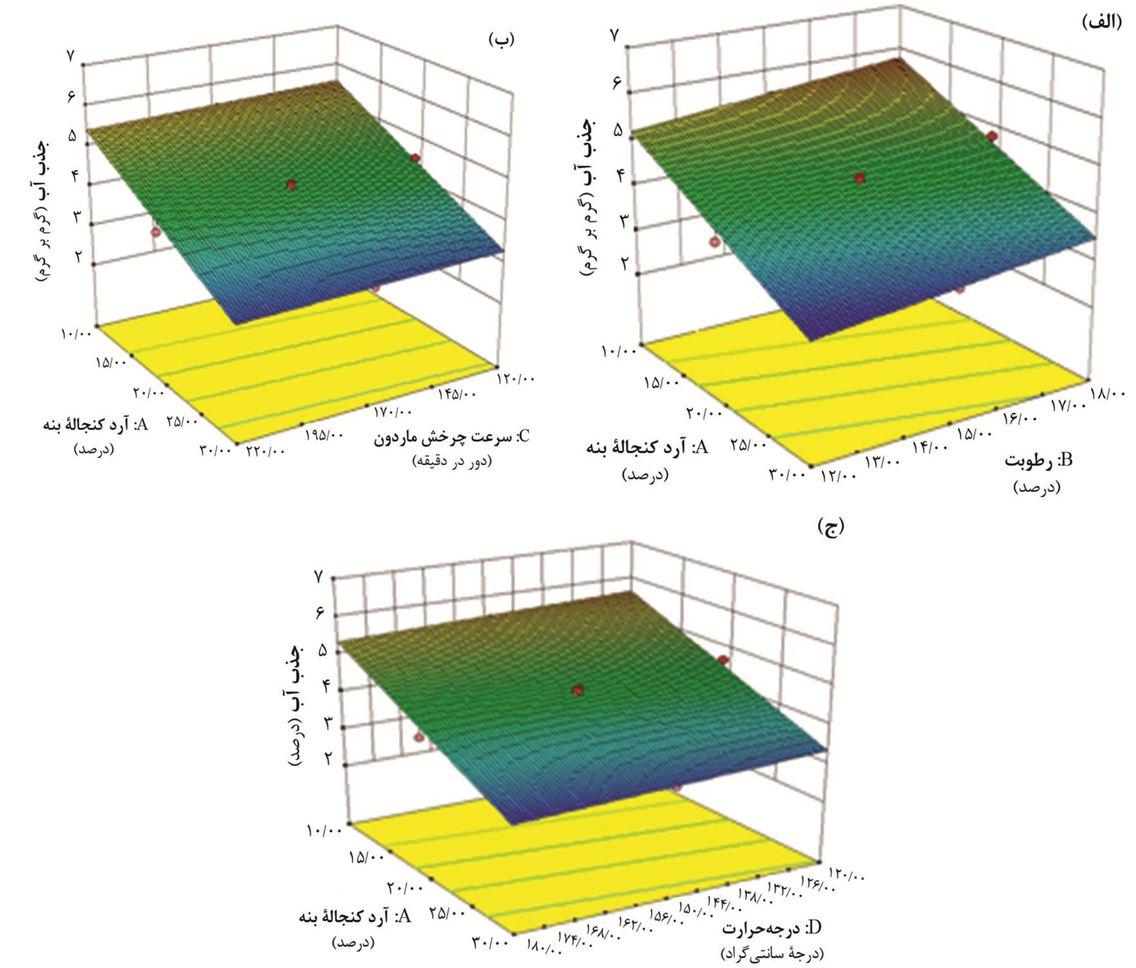
بررسی اثر رطوبت

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده زمانی که سطح زیادی از PDBC در فرمولاسیون به‌کارگرفته شد، شاخص جذب آب تحت‌تأثیر مقدار میزان رطوبت قرار نگرفت اما سطوح پایین‌تر آن، سبب افزایش شاخص جذب آب محصول گردید که علت احتمالی مربوط به نقش آب به‌عنوان یک نرم‌کننده[3] بوده است که سبب کاهش تجزیهٔ پلیمر نشاسته و درنتیجه موجب دسترسی بیشتر گروه‌های آب‌دوست به مولکول‌های آب شده است (شکل ۳-الف). Yagci و Gogus (۲۰۰۸)، Hagenimana و همکاران (۲۰۰۶) و Ding و همکاران (۲۰۰۶) نتایج مشابهی را درخصوص اثر آرد به‌دست‌آمده از کنجاله‌های مختلف بر شاخص جذب آب را گزارش کردند.

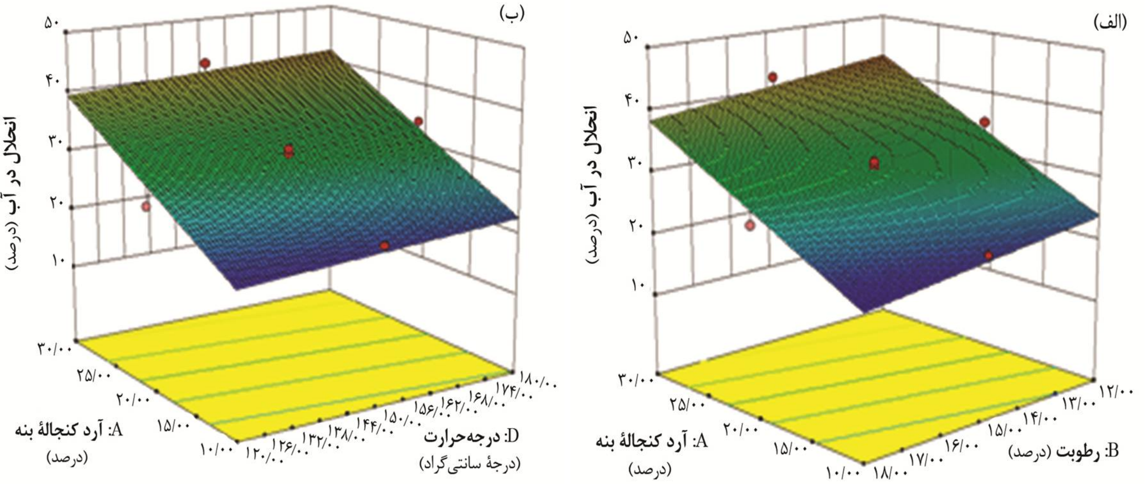
[1] Pinto Beans

[2] Dexterinized

[3] Plasticizer



شکل ۳ - نمودار سطح پاسخ شاخص جذب آب؛ الف- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- رطوبت، ب- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- سرعت چرخش ماردون، ج- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- درجه‌حرارت



شکل ۴ - نمودار سطح پاسخ شاخص انحلال درآب؛ الف- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- رطوبت، ب- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- درجه‌حرارت

اثرات متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند بر خصوصیات بافتی (سختی) اسنک حاوی PDBC

بررسی اثر PDBC

در پژوهش حاضر نیز با افزودن سطوح PDBC به‌دلیل افزایش میزان فیبر نامحلول و تأثیر آن بر ضخامت دیوارهٔ سلولی، سختی بافت افزایش یافت که با نتایج پژوهش‌های دیگر مطابقت دارد (شکل ۵).

بافت یکی از مهم‌ترین خصوصیات حسی محصولات اکسترودشده در توسعهٔ محصولات اسنک بشمار می‌رود. از سختی، تردی[1] و شکنندگی[2] جهت ارزیابی خصوصیات بافتی محصولات اکسترودشدهٔ تولیدشده استفاده می‌شود. افزودن هر نوع فراوردهٔ جانبی به فرمولاسیون محصولات اکسترودشده سبب تغییرات بافتی محصولات می‌گردد (Altan e*t al*., 2008a).

مواد غنی از فیبر افزوده‌شده به فرمولاسیون محصولات اکسترودشده سبب کاهش اندازهٔ سلول هوایی و تشکیل دیوارهٔ ضخیم می‌گردند. محصولات اکسترودشده حاوی فیبر دارای یکنواختی کمتر و پارگی بیشتر سلول‌های هوایی در مقایسه با محصولات اکسترودشده حاوی نشاستهٔ ذرت می‌باشند (Camire & king, 1991; Onwulata *et al*., 2000 یانیوتیس و همکاران، ۲۰۰۷). فیبرهای درشت مولکول سبب تأخیر در تشکیل و توسعهٔ سلول‌های هوایی شده و قبل از اینکه سلول‌های هوایی به ماکزیمم انبساط برسند، تخریب می‌شوند (Robin *et al*., 2011b).

بررسی اثر رطوبت

در پژوهش حاضر نیز با افزایش سطوح رطوبت در فرمولاسیون محصول اکسترودشده حاوی PDBC میزان سختی بافت روند صعودی داشت که علت احتمالی آن کاهش نسبت انبساط شعاعی و تخلخل بافتی و ازطرفی افزایش تراکم سلول‌های هوایی کوچک می‌باشد (شکل ۵-الف). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیق Ding و همکاران (۲۰۰۵) روی محصول اکسترودشده حاوی آردبرنج و همچنین Stojceska و همکاران (۲۰۰۸) روی محصول اکسترودشده حاوی کدوقرمز که در آن با افزایش میزان رطوبت ورودی قطر سلول‌های هوایی بدون افزایش ضخامت دیوارهٔ سلولی کاهش‌یافته و به‌دلیل تراکم سلولی نسبت انبساط سلولی کاهش و میزان سختی بافت افزایش یافته، مطابقت دارد.

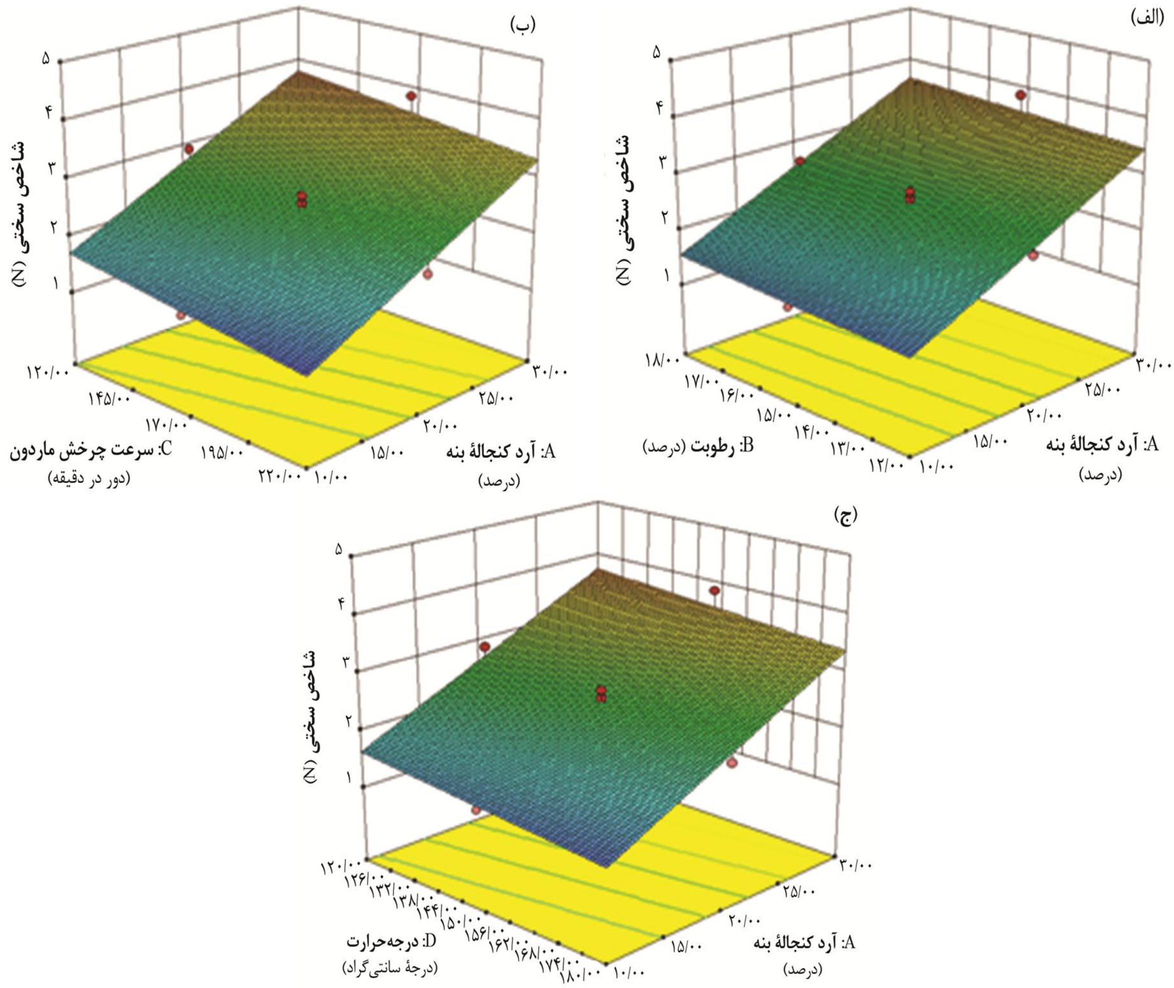
بررسی اثر درجه‌حرارت و سرعت چرخش ماردون

در پژوهش حاضر نیز با افزایش درجه‌حرارت اکسترودر از ۱۲۰ به ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد میزان سختی بافت کاهش‌یافته که نتیجهٔ احتمالی مربوط به کاهش ویسکوزیتهٔ مواد مذاب و افزایش میزان انبساط سلولی ناشی از افزایش فشار بخار آب در خروجی اکسترودر به همراه کاهش ضخامت دیوارهٔ سلولی و تولید سلول‌های هوایی بزرگ‌تر می‌باشد (شکل ۵-ج).

افزایش درجه‌حرارت طی فرایند اکستروژن سبب کاهش ویسکوزیتهٔ مواد مذاب و افزایش فشار بخار آب جهت ایجاد حباب در تولید محصول منبسط‌شده و همچنین کاهش ضخامت دیوارهٔ حباب هوایی و ازطرفی کاهش میزان سختی بافت می‌گردد (Ding *et al*., 2006; Yuliani *et al*., 2006; Altan *et al*., 2008a).

در پژوهش حاضر نیز با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۱۲۰ به ۲۲۰ دور در دقیقه میزان سختی بافت محصول اکسترودشده بر پایهٔ PDBC کاهش یافت (شکل ۵-ب) که علت احتمالی این پدیده مربوط به اثر سرعت چرخش ماردون در افزایش انرژی مکانیکی مخصوص و میزان برش حاصله و نقش آن در افزایش میزان انبساط و کاهش سختی بافت بود (Zarzycki *et al*., 2010). افزایش سرعت چرخش ماردون سبب افزایش انرژی مکانیکی مخصوص می‌شود که اثر مثبت روی میزان انبساط دارد؛ بنابراین، سختی بافت کاهش می‌یابد (Wu *et al*., 2007). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج Altan و همکاران (۲۰۰۸) و Wu و همکاران (۲۰۰۷) که به‌ترتیب به بررسی اثر سرعت چرخش ماردون روی بافت محصول اکسترودشده حاوی آردجو و آرد بذرکتان پرداخته بودند، مطابقت داشت.

[1] Crispness
[2] Brittleness



شکل ۵ - نمودار سطح پاسخ شاخص سختی؛ الف- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC) - رطوبت، ب- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC) - سرعت چرخش ماردون، ج- تأثیردرصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC) - درجه‌حرارت

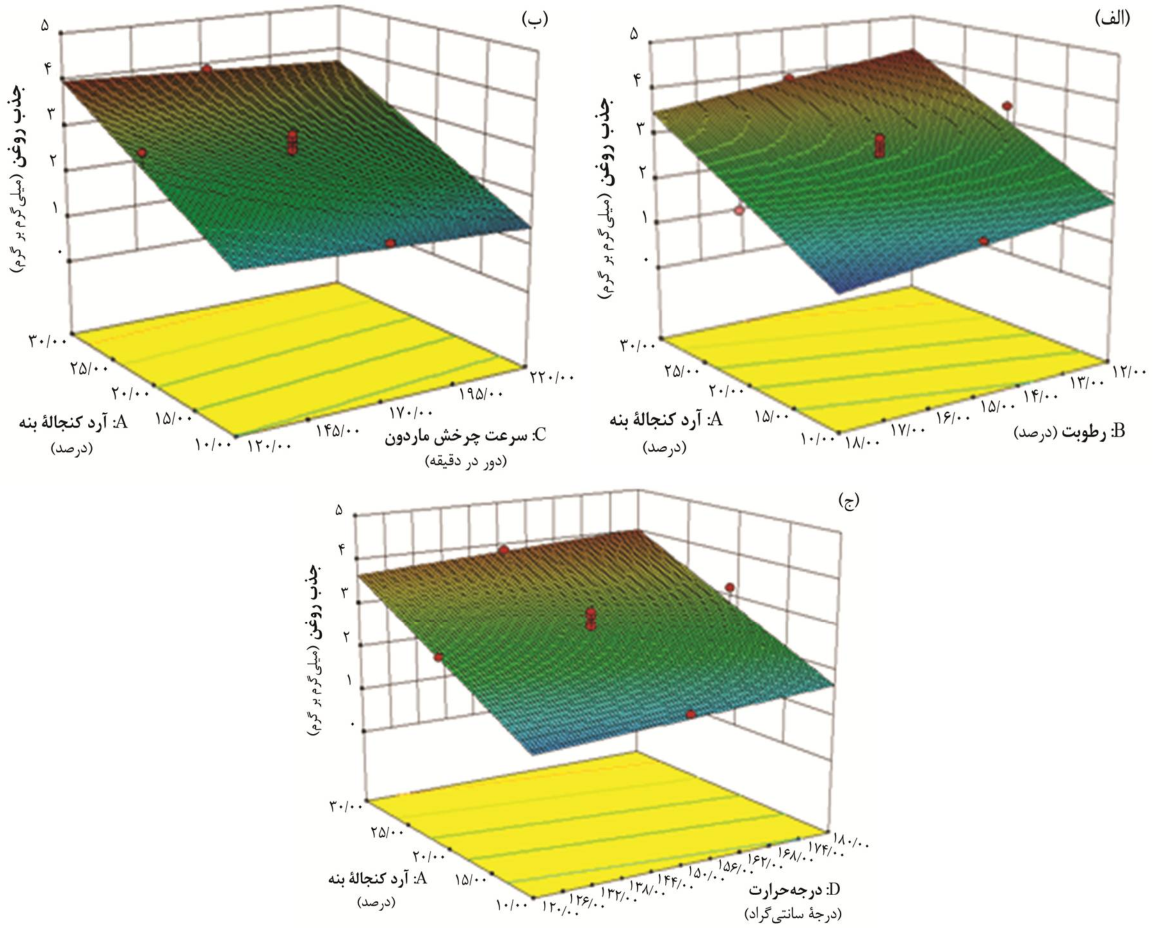
اثرات متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند بر شاخص جذب روغن[1] اسنک حاوی PDBC

بررسی اثر PDBC

در پژوهش حاضر، با افزایش سطوح PDBC، به‌دلیل افزایش میزان فیبر، میزان جذب روغن افزایش یافت (شکل ۶) و نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج Deshpande و Poshadri (۲۰۱۱) که به بررسی مشخصات فیزیکی و حسی محصول اکسترودشده حاوی آرد ارزن پرداختند، مطابقت دارد. این محققین اعلام نمودند که با افزایش سطوح آرد ارزن مصرفی به‌دلیل افزایش میزان فیبر موجود و ازطرفی روغن کمتر در ساختار داخلی آرد مصرفی میزان جذب روغن در محصول اکسترودشدهٔ تولیدی افزایش یافت.

به‌طورکلی شاخص جذب روغن به‌عنوان شاخص حضور گروه‌های آب‌گریز و توانایی آنها در حفظ روغن در ساختار محصولات اکسترودشده مطرح می‌باشد. در فرایند اکستروژن گرانول‌های نشاسته تحت‌تأثیر ژلاتیناسیون و تغییر توازن گروه‌های آب‌دوست و آب‌گریز قرارگرفته و تغییراتی در میزان جذب روغن آنها ایجاد می‌گردد (Vernaza *et al.*, 2009).

---
[1] Oil Absorption Index



شکل ۶ - نمودار سطح پاسخ شاخص جذب روغن؛ الف- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- رطوبت، ب- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- سرعت چرخش ماردون، ج- تأثیر درصد آرد کنجالهٔ بنه (PDBC)- درجه‌حرارت

بررسی اثر رطوبت

در تحقیق حاضر با افزایش درصد رطوبت ورودی در اکسترودر از ۱۲ به ۱۸ درصد میزان شاخص جذب روغن کاهش یافت (شکل ۶-الف) و دلیل احتمالی این پدیده مربوط به اثر افزایش درصد رطوبت بر کاهش ویسکوزیتهٔ مواد مذاب و ژلاتیناسیون نشاسته می‌باشد. این امر به‌نوبهٔخود موجب کاهش میزان انبساط و تخلخل بافتی و درنتیجه کاهش شاخص جذب روغن می‌شود (Lazou & Krokida, 2010). افزایش میزان رطوبت در فرمولاسیون محصولات اکسترودشده سبب کاهش میزان ژلاتیناسیون نشاسته و کاهش اندازهٔ سلول‌های هوایی شده و درنتیجه میزان جذب روغن در محصول اکسترودشده کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج بررسی Gujska و Khan (۱۹۹۰) و Kadan و همکاران (۲۰۰۳) و Stojceska و همکاران (۲۰۰۸) که به‌ترتیب به بررسی اثر رطوبت بر شاخص جذب روغن روی محصول اکسترودشده حاوی پودر عصارهٔ جو و آردنخود، لوبیا و آردبرنج پرداخته بودند، مطابقت داشت. آنها علت کاهش شاخص جذب روغن را به نقش رطوبت بالا در کاهش میزان ژلاتیناسیون نشاسته و تولید سلول‌های هوایی کوچک نسبت دادند.

بررسی اثر درجه‌حرارت و سرعت چرخش ماردون

در تحقیق حاضر با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۱۲۰ به ۲۲۰ دور در دقیقه میزان شاخص جذب روغن به میزان اندکی کاهش یافت (شکل ۶-ب)که این امر ناشی از تغییرات شدید در ساختار مولکول‌های نشاسته و خواص آب‌گریزی آنها می‌باشد (Hashemi *et al*., 2017). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج Omohimi و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد که به بررسی اثر پارامترهای فرایندی اکستروژن بر

ویژگی‌های کیفی آنالوگ گوشت حاصل از آردلوبیای موکونا پرداختند.

در پژوهش حاضر با افزایش دما از ۱۲۰ به ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد شاخص جذب روغن افزایش یافت (شکل ۶-ج). افزایش درجه‌حرارت طی فرایند اکستروژن سبب افزایش درجهٔ پخت محصولات و درنتیجه تشکیل مولکول‌های کوچک ناشی از دکسترینیزاسیون[1] نشاسته گردیده و این مولکول‌های کوچک می‌تواند سبب افزایش شاخص جذب روغن گردد (Drago *et al*., 2007). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج بررسی Lazou و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد که به بررسی تأثیر درجه‌حرارت اکستروژن روی درجهٔ پخت و تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر ناشی از دکسترینیزاسیون نشاستهٔ محصول اکسترودشده حاوی ذرت و عدس پرداختند.

بهینه‌سازی

تکنیک بهینه‌سازی عددی به‌منظور بهینه‌کردن متغیرهای فرایند به‌کاربرده شد. در این تحقیق، هدف از بهینه‌سازی تولید اسنک حجیم‌شده به حداقل رساندن میزان چگالی توده و سختی اسنک و حداکثرکردن نسبت انبساط بود. همچنین شاخص جذب آب، شاخص انحلال در آب و شاخص جذب روغن داخل محدوده مورد بررسی قرار گرفتند. شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی برای هریک از متغیرها و پاسخ‌های فرایند در جدول (۴)، ارائه شده‌اند. نتایج حاصل از فرایند بهینه‌سازی نیز در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۴- شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی تولید اسنک بهینه

متغیرها- پاسخ‌ها	هدف	حدود پایین	حدود بالا
آرد کنجالهٔ بنه (PDBC) (۱۰۰ گرم/گرم)	داخل محدوده	۱۰	۳۰
رطوبت ورودی (درصد)	داخل محدوده	۱۲	۱۸
سرعت چرخش ماردون (دور در دقیقه)	داخل محدوده	۱۲۰	۲۲۰
درجه‌حرارت (سانتی‌گراد)	داخل محدوده	۱۲۰	۱۸۰
چگالی توده (کیلوگرم بر مترمکعب)	حداقل	۰/۰۵	۰/۱۴۲
نسبت انبساط	حداکثر	۲/۶	۵/۷۲
سختی (N)	حداقل	۱/۰۴	۴/۰۷
شاخص جذب آب	داخل محدوده	۲/۹۱۲	۶/۱۲
شاخص انحلال در آب	داخل محدوده	۱۹/۶	۴۶/۵
شاخص جذب روغن	داخل محدوده	۰/۷۹	۴/۲۴

جدول ۵ - نتایج به‌دست‌آمده برای بهینه‌سازی تولید اسنک حجیم‌شده

متغیر مستقل	مقدار	پاسخ	مقدار
آرد کنجالهٔ بنه (PDBC) (۱۰۰ گرم/گرم)	۲۰/۱۴	چگالی توده (کیلوگرم بر مترمکعب)	۰/۱۰۲
رطوبت ورودی (درصد)	۱۷/۴۵	نسبت انبساط	۳/۸۳۳
سرعت چرخش ماردون (دور در دقیقه)	۱۶۰/۶۰	سختی	۲/۷۵۷
درجه‌حرارت (سانتی‌گراد)	۱۳۳/۲۴	شاخص جذب آب	۴/۶۷۷
		شاخص انحلال در آب	۲۸/۴۶۷
		شاخص جذب روغن	۲/۳۱۵

آزمون صحت مدل[2]

جهت بررسی کفایت[3] مدل‌های به‌دست‌آمده برای پیش‌بینی هریک از پاسخ‌ها در شرایط بهینهٔ تولید اسنک حجیم‌شده، آزمون صحت انجام گردید. مقادیر به‌دست‌آمده برای هریک از پاسخ‌ها (میانگین ۳ تکرار) در جدول (۶)، ارائه شده‌اند. نزدیک‌بودن مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌ها، نشان می‌دهد که مدل‌های به‌دست‌آمده مناسب و قابل‌قبول می‌باشند.

[1] Dextrinization
[2] Validation test
[3] Adequacy

جدول ۶- مقادیر پیش‌بینی‌شده و واقعی پاسخ‌ها در شرایط بهینهٔ تولید اسنک حجیم‌شده

پاسخ	مقدار پیش‌بینی‌شده (مدل)	مقدار واقعی (آزمایش)
چگالی توده (کیلوگرم بر مترمکعب)	۰/۱۰۲	۰/۰۹۸±۰/۰۰۸
نسبت انبساط	۳/۸۳۳	۳/۴۹±۰/۱۲
سختی	۲/۷۵۷	۲/۶۲±۰/۰۳
شاخص جذب آب	۴/۶۷۷	۴/۲۳±۰/۰۸
شاخص انحلال در آب	۲۸/۴۶۷	۲۶/۸±۰/۶
شاخص جذب روغن	۲/۳۱۵	۲/۱۸±۰/۰۱

نتیجه‌گیری

ایدهٔ افزودن PDBC به محصول اکسترودشده بر پایهٔ ذرت به‌دلیل نیاز به بهینه‌سازی خواص فیزیکی و عملکردی محصولات تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. در بین متغیرهای مستقل انتخابی، سطح PDBC (۲۱/۱۴ درصد)، رطوبت ورودی (۱۷/۴۵ درصد)، سرعت چرخش ماردون (۱۶۰ دور در دقیقه) و دما (۱۳۳/۲ درجهٔ سانتی‌گراد) به‌عنوان تیمار بهینه انتخاب شد.

منابع

1- Altan, A., & Maskan, M. 2011. Development of extruded foods by utilizing food industry by-products. In Advances in Food Extrusion Technology. P. 121-168. CRC Press.

2- Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. 2008b. Twin-screw extrusion of barley–grape pomace blends: extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. Journal of Food Engineering, 89(1):24-32.

3- Altan, A., McCarthy, K.L., & Maskan, M. 2008a. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88(9):1648-1659.

4- Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F., &and Griffin, E.L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today, 14:4-12.

5- Arhaliass, A., Bouvier, J. M., & Legrand, J. 2003. Melt growth and shrinkage at the exit of the die in the extrusion-cooking process. Journal of Food Engineering, 60(2):185-192.

6- Association of official analytical chemists (AOAC). 2005. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18th ed. Gaithersburg.

7- Badrie, N., & Mellowes, W.A. 1991. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. Journal of Food Science, 56(5), 1334-1337.

8- Bhattacharya, S. 1997. Twin-screw extrusion of rice-green gram blend: extrusion and extrudate characteristics. Journal of Food Engineering, 32(1):83-99.

9- Camire, M.E., & Flint, S.L. 1991. Thermal processing effects on dietary fiber composition and hydration capacity in corn meal, oat meal and potato peels, Cereal Chemistry, 68(6):645-647.

10- Camire, M.E., & King, C.C. 1991. Protein and fiber supplementation effects on extruded cornmeal snack quality. Journal of Food Science, 56(3):760-763.

11- Capriles, V.D., Soares, R.A.M., Pinto e Silva, M.E.M., & Arêas, J.A.G. 2009. Effect of fructans-based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks. International Journal of Food Science & Technology, 44(10):1895-1901.

12- Chang, Y.K., Silva, M.R., Gutkoski, L.C., Sebio, L., & Da Silva, M.A.A.P. 1998. Development of extruded snacks using jatobá (Hymenaea stigonocarpa Mart) flour and cassava starch blends. Journal of the Science of Food and Agriculture, 78(1):59-66.

13- Chinnaswamy, R., & Hanna, M.A. 1988. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. Journal of Food Science. 53(3):834-836.

14- Colonna, P., Tayeb, J. & Mercier, F. 1989. Extrusion cooking of starch and starchy products. In Extrusion cooking. P. 247-319. eds. Mercier, C., Linko, P., & Harper, J.M. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists Inc.

15- Desai, B.B., Kotecha, P.M., & Salunkhe, D.K. 1999a. Composition and nutritional quality. In: Introduction science and technology of groundnut: biology, production, processing and utilization. P. 185-199. Nayaprokashpubl, New Delhi, India.

16- Deshpande, H.W., & Poshadri, A. 2011. Physical and sensory characteristics of extruded snacks prepared from foxtail millet based composite flours. International Food Research Journal, 18(2):751-756.

17- Ding, Q.B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. Journal of Food Engineering, 73(2):142-148.

18- Drago, S., Velasco-Gonzlez, O., Torres, R., Gonzlez, R. & Valencia, M. 2007. Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from phaseolus vulgaris bean flour. Plant Foods for Human Nutrition, 62(2):43-48.

19- Farhoosh, R., & Tavakoli, J. 2008. Chemical composition and oxidative stability of kernel oils from two current subspecies of pistacia atlantica in iran. Journal of the American Oil Chemists' Society, 85:723-729.

20- Gomez, M.H., & Aguilera, J.M. 1983. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. Journal of Food Science, 48(2):378-381.

21- Gopalakrishna, A.G. 2007. Edible oilseed, oil and meal need for quality control. Beverage Food World, 34(1):42-44.

22- Guha, M., Ali, S.Z., & Bhattacharya, S. 1997. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. Journal of Food Engineering, 32(3):251-267.

23- Gujska, E., & Khan, K. 1990. Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. Journal of Food Science, 55(2):466-469.

24- Gujska, E., & Khan, K. 1991. Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. Journal of Food Science, 56(2):431-435.

25- Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. Journal of Cereal Science, 43(1):38-46.

26- Hashemi, N., Mortazavi, S.A., Milani, E., & Tabatabai Yazdi, F. 2017. Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially deffated almond powder and corn flour. Journal of Food Processing and Preservation.

27- Hashimoto, J.M., & Grossmann, M.V.E. 2003. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. International Journal of Food Science & Technology, 38(5):511-517.

28- Hsieh, F., Mulvaney, S. J., Huff, H. E., Lue, S., & Brent Jr, J. 1989. Effect of dietary fiber and screw speed on some extrusion processing and product variables. LWT-Food science and technology, 53(1): 561-570.

29- Jin, Z., Hsieh, F., & Huff, H.E. 1995. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. Journal of Cereal Science, 22(2):185-194.

30- Kadan, R.S., Bryant, R.J., & Pepperman, A.B. 2003. Functional properties of extruded rice flour. Journal of Food Science, 68(5):1669-1672.

31- Khanal, R.C., Howard, L.R., Brownmiller, C.R., & Prior, R.L. 2009. Influence of extrusion processing on procyanidin composition and total anthocyanin contents of blueberry pomace. Journal of Food Science, 74(2):H52-H58.

32- Kokini, J.L., Chang, C.N. & Lai, L.S. 1992. The role of rheological properties on extrudate expansion. In Food extrusion science and technology. P. 631-653. eds. J.L., Kokini, C.-T., Ho and M.V. Karwe. New York, Marcel Dekker Inc.

33- Koksel, H., Ryu, G.H., Ozboy-Ozbas, O., Basman, A., & Ng, P.K.W. 2003. Development of a bulgur-like product using extrusion cooking. Journal of the Science of Food and Agriculture, 83(7):630-636.

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

35- Lazou, A., & Krokida, M. 2010a. Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. Food Research International, 43(2):609-616.

36- Lazou, A., & Krokida, M. 2010b. Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks. Journal of Food Engineering. 100(3):392-408.

37- Li, S.Q., Zhang, H.Q., Tony Jin, Z., & Hsieh, F.H. 2005. Textural modification of soya bean/corn extrudates as affected by moisture content, screw speed and soya bean concentration. International Journal of Food Science & Technology, 40(7):731-741.

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

39- Mendonca, S., Grossmann, M.V.E., & Verhé, R. 2000. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. LWT-Food Science and Technology, 33(1):2-8.

40- Ng, A., Lecain, S., Parker, M.L., Smith, A.C., & Waldron, K.W. 1999. Modification of cell-wall polymers of onion waste: III. effect of extrusion-cooking on cell-wall material of outer fleshy tissues. Carbohydrate Polymers, 39(4), 341-349.

41- Obatolu Veronica, A., Omueti Olusola, O., & Adebowale, E.A. 2006. Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. Journal of food process engineering, 29(2):149-161.

42- Omohimi, C.I., Sobukola, O.P., Sarafadeen, K.O., & Sanni, L.O. 2014. Effect of thermo-extrusion process parameters on selected quality attributes of meat analogue from mucuna bean seed flour. Nigerian Food Journal, 32(1):21-30.

43- Onwulata, C.I., Konstance, R.P., Strange, E.D., Smith, P.W., & Holsinger, V.H. 2000. High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations. Cereal Foods World, 45(10):470-473.

44- Rayas- Duarte, P., Majewsk, K., & Doetkott, C. 1998. Effect of extrusion process parameters on the quality of buck wheat fiour mixes. Cereal Chemistry, 75:338- 345.

45- Riaz, M.N., Asif, M., & Ali, R. 2009. Stability of vitamins during extrusion. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 49(4):361-368.

46- Robin, F., Dubois, C., Curti, D., Schuchmann, H.P., & Palzer, S. 2011b. Effect of wheat bran on the mechanical properties of extruded starchy foams. Food Research International. 44(9):2880-2888.

47- Saffarzadeh, A., Vincze, L., & Csapo, J. 1999. Determination of the chemical composition of acorn (quercusbrantii), pistacia atlantica and pistacia khinjuk seeds as non-convetional feedstuffs. Acta Agraria Kaposvariensis, 3:59-69.

48- Seker, M. 2005. Selected properties of native or modified maize starch/soy protein mixtures extruded at varying screw speed. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(7):1161-1165.

49- Singh, B., Sekhon, K.S., & Singh, N. 2007. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. Food Chemistry, 100(1):198-202.

50- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanogˇlu, S. 2008. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. Journal of Cereal Science, 47(3):469-479.

51- Sun, Y., & Muthukumarappan, K. 2002. Changes in functionality of soy-based extrudates during single-screw extrusion processing. International Journal of Food Properties, 5(2):379-389.

52- Tahvonen, R., Hietanen, A., Sankelo, T., Korteniemi, V.M., Laakso, P., & Kallio, H. 1998. Black currant seeds as a nutrient source in breakfast cereals produced by extrusion cooking. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A, 206(5):360-363.

53- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74(10):3583-3597.

54- Vernaza, M.G., Chang, Y.K. & Steel, C.J. 2009. Desenvolvimento de cereal matinal funcional orgânico enriquecido com farelo de maracujá: avaliação de propriedades tecnológicas. Brazilian Journal of Food Technology. 12:145-154.

55- Warner, K., & Knowlton, S. 1997. Frying quality and oxidative stability of high oleic corn oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 74:1317-1322.

56- Wu, W., Huff, H.E., & Hsieh, F. 2007. Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff. Journal of Food Processing and Preservation, 31(2):211-226.

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

58- Yagci, S., & Gogus, F. 2009. Development of extruded snack from food by-products: a response surface analysis. Journal of Food Process Engineering, 32(4):565-586.

59- Yanniotis, S., Petraki, A., & Soumpasi, E. 2007. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. Journal Food Engineering, 80:594-599.

60- Yuliani, S., Torley, P.J., D'Arcy, B., Nicholson, T., & Bhandari, B. 2006. Effect of extrusion parameters on flavour retention, functional and physical properties of mixtures of starch and D-limonene encapsulated in milk protein. International Journal Food Science Technology, 41:83-94.

61- Zarzycki, P., Rzedzicki, Z., & Blaszczak, W. 2010. Application of oat whole-meal and protein components as modifiers of extrudates microstructure. International Agrophysics, 24(4):397-406.

Optimization of Formulation Variables and Conditions of the Extrusion Process Large Snack Products Containing Bene cake- Flour

Behnam Fiuzy[1], Mohammad Javad Varidi[2*], Elnaz Milani[3], Fakhri Shahidi[4], Mohammad Hossein Haddad Khodaparast[4]

1- PhD Student of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

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

3- Assistant Professor of Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran

4- Professor of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

In this study, response surface methodology (RSM) was used to optimize extrusion conditions, including semi-defatted Bene cake (PDBC) content(10-30%), moisture content (12-18%), temperature (120-180 °C), and screw speed (120-220 rpm). The effects of the independent variables were investigated on some physical and functional properties including bulk density(BD), expansion rate, hardness, water absorption index (WAI),water solubility index (WSI), oil absorption index (OAI). Our result revealed that the addition of PDBC improved the functional and physical properties of extruded Bene snack (EBS).BD was remarkably increased by increasing PDBC. The addition of PDBC to cornmeal increased the fiber content contrary to the starch content. It also brought about a reduction in the average size of the cells and creation of holes on the cell wall. Hardness was also increased by adding PDBC. WAI of EBS was remarkably decreased by adding PDBC. WSI of EBS increased as PDBC increased. OAI of EBS increased by increasing PDBC and extrusion temperature. Among the independent variables, bene content had the largest effect on all of the responses. 21.14% PDBC, 17.45% moisture content, 160 rpm screw speed and 133.2 °C were found to be the optimal conditions for PDBC production.

Keywords: Bulk Density, Expansion Ratio, Extrusion, Functional Properties, Texture Analysis

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۶۴-۴۹

JRIFST

موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز آنزیمی پروتئین گردهٔ زنبورعسل توسط آنزیم گوارشی پپسین براساس ویژگی‌های ضداکسایشی و بازدارندگی ACE و مقایسهٔ آن با ژلهٔ رویال

عاطفه مقصودلو[1]، علیرضا صادقی ماهونک[2]*، محمد قربانی[2]، فیدل تولدرا[3]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار، گروه شیمی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
* نویسندهٔ مسئول (sadedeghiaz@gau.ac.ir)
۳- استاد، انستیتو آگروشیمی و تکنولوژی مواد غذایی (IATA)، والنسیا، اسپانیا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۴

واژه‌های کلیدی
ژلهٔ رویال
فعالیت آنتی‌اکسیدانی
گردهٔ گل
هیدرولیز آنزیمی
ACE

چکیده

در این پژوهش تأثیر هیدرولیز آنزیمی پروتئین گردهٔ گل توسط آنزیم پپسین بر خواص آنتی‌اکسیدانی و بازدارندگی ACE بررسی و با ویژگی آنتی‌اکسیدانی ژلهٔ رویال مقایسه گردید. ترکیبات فنلی، فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH، قدرت احیاکنندگی گردهٔ گل و ژلهٔ رویال اندازه‌گیری شد که مقادیر آنها برای غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گردهٔ گل و ژلهٔ رویال، به‌ترتیب ۱۷۴ و ۱۰۳۱/۷۱ میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم نمونه، ۶۷/۳۳ درصد و ۹۵/۲۷ درصد و جذب ۰/۸ و ۰/۷۷ در طول موج ۷۰۰ نانومتر بود. بیشترین قدرت احیاکنندگی تیمارهای هیدرولیزشده با آنزیم پپسین ۲ درصد و مدت هیدرولیز ۴ ساعت، ۰/۸۱ (براساس میزان جذب) بود. بیشترین قدرت مهار رادیکال DPPH تیمارهای هیدرولیزشده با آنزیم پپسین ۲ درصد و مدت هیدرولیز ۲/۵ ساعت، ۱۰۰ درصد بود. بیشترین قدرت مهار ACE تیمارهای هیدرولیزشده با پپسین ۲ درصد و مدت هیدرولیز ۴ ساعت ۹۱/۴۹ درصد بود. نتایج نشان داد با انجام هیدرولیز، قدرت مهار رادیکال DPPH از ۶۷/۳۳ درصد در گردهٔ هیدرولیزنشده، به ۱۰۰ درصد و قدرت مهار ACE گردهٔ گل، از ۱۵/۵۴ درصد در گردهٔ هیدرولیزنشده، به ۹۱/۴۹ درصد در گردهٔ هیدرولیزشده ارتقاء پیدا کرد. بنابراین بعد از انجام عمل هیدرولیز، قدرت مهار رادیکال DPPH و ACE گردهٔ گل با ژلهٔ رویال قابل مقایسه شد. باتوجه‌به اینکه گردهٔ گل تنها منبع اصلی پروتئینی زنبور است؛ با هیدرولیز پروتئین گردهٔ گل، می‌توان آنها را به پپتیدهای موجود در ژلهٔ رویال نزدیک کرد.

مقدمه

گردهٔ جمع‌آوری‌شده توسط زنبورعسل با ۱۰ تا ۴۰ درصد پروتئین از تجمع و مخلوط‌شدن گردهٔ گل‌ها با شهد آنها و بزاق زنبورعسل به‌دست می‌آید (Pascoal *et al.*, 2013). ژلهٔ رویال[1] با ۲۷ تا ۴۱ درصد پروتئین، به‌عنوان غنی‌ترین مادهٔ مغذی بیولوژیک شناخته شده است. این ماده توسط آنزیم‌های پروتئازی و دیگر آنزیم‌های طبیعی زنبورعسل، از هضم مستقیم گرده به‌وجودآمده و از ۲ جفت غدهٔ هیپوفارنژیال[2] موجود در طرفین سر زنبورعسل[3] کارگر جوان ترشح می‌شود (Bogdanov, 2014; Morais *et al.*, 2011). ویژگی

[1] Royal Jelly
[2] Hypopharyngeal
[3] *Apis mellifera*

آنتی‌اکسیدانی ژلهٔ رویال و گردهٔ زنبورعسل مربوط به پروتئین‌های اصلی و ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی آنها بوده (Nagai & Inoue, 2004) و دی و تری‌پپتیدهای[1] حاصل از هیدرولیز پروتئینی فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری نسبت به پروتئین‌های هیدرولیزنشده از خود نشان می‌دهند (Kawashima *et al.*, 1979; Guo *et al.*, 2009). دلایل مربوط به عملکرد آنتی‌اکسیدانی این پپتیدها شامل قابلیت احیاء و فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد، خاصیت خنثی‌کنندگی برخی از ترکیبات سمی همانند رادیکال‌های هیدروکسیل و خاصیت چلاته‌کنندگی کاتیون‌های فلزی پراکسیدان می‌باشد (Benjakul & Kishimura, 2011). نتایج پژوهش‌های انجام‌شده درزمینهٔ هیدرولیز آنزیمی پروتئین نشان داده است که پپتیدهای به‌دست‌آمده از هیدرولیز پروتئین‌های غذایی توسط پپسین، تریپسین و آلکالاز دارای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی می‌باشند (Wiriyaphan *et al.*, 2012; Khantaphant & Benjakul, 2008) فعالیت آنتی‌اکسیدانی ژلهٔ رویال در مورد نمونه‌های گیاهی و مخمرها و همچنن اثر محافظتی آن در مقابل تنش‌های اکسیداتیو در حیوانات آزمایشگاهی به اثبات رسیده است؛ این ترکیب در شرایط آزمایشگاهی از پراکسیداسیون لیپید جلوگیری کرده است (Liu *et al.*, 2008; Nagai *et al*; 2005). Guo و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند پپتیدهای ژلهٔ رویال که از فعالیت پروتئازهای مختلف به‌دست می‌آیند، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهندگی فشارخون بالایی را از خود نشان می‌دهند. Almeida و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند ترکیبات فنلی موجود در عصارهٔ گردهٔ گل با ویژگی آنتی‌اکسیدانی مناسب، به‌طور چشمگیری باعث کاهش واکنش‌های اکسایشی در سوسیس می‌گردد. Marinova و Tchorbanov (۲۰۱۰) با استفاده از پروتئیناز و آمینوپپتیدازها[2] با منشأ گیاهی ازجمله بروملائین[3] آناناس، آمینوپپتیداز و پرولین ایمینوپپتیداز برگ کلم و آمینوپپتیداز نخود، به هیدرولیز پروتئین‌های گردهٔ گل پرداختند و ویژگی‌های مهارکنندگی رادیکال DPPH[4] پپتیدهای به‌دست‌آمده را مورد بررسی قرار دادند. Salampessy و همکاران (۲۰۱۵) اثر پپتیدهای حاصل از هیدرولیز پروتئین‌های ماهی با آنزیم بروملائین[5] را بر بازدارندگی از آنزیم مبدل آنژیوتنسین (ACE[6]) مورد بررسی قرار دادند. پپتیدها با بیشترین فعالیت بازدارندگی، شناسایی و وزن مولکولی آنها مشخص شد و به‌عنوان غذای عملگرا مورد استفاده قرار گرفت.

مصرف ژلهٔ رویال، با وجود اثرات مفید و سلامت‌بخش آن، به‌دلیل اثرات احتمالی ازجمله آلرژی‌زایی و طعم اسیدی خاص آن و همچنین کم‌بودن مقدار تولید آن، مرسوم نیست. بسیاری از ویژگی‌های قابل توجه ژلهٔ رویال مربوط به پپتیدهایی است که به‌طور طبیعی در آن وجود دارد. بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر این است که با هیدرولیز آنزیمی گرده که دسترس‌پذیری بیشتری دارد و ارزان‌تر از ژلهٔ رویال است، می‌توان ماده‌ای تولید کرد که ازنظر برخی از خواص مفید ژلهٔ رویال ازجمله ویژگی مهار رادیکال DPPH، قدرت احیاکنندگی و بازدارندگی ACE به آن نزدیک باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. گردهٔ مخلوط چند گل و ژلهٔ رویال از مرکز پرورش زنبورعسل و خدمات گرده‌افشانی واقع در گنبدکاووس، آنزیم‌های پپسین و ACE و سوبسترای آن از شرکت سیگما و سایر مواد آزمایشگاهی شامل اسیدسولفوریک، هیدروکسید سدیم، اسیدبوریک، اسیدکلریدریک، تریس، مونوسدیم فسفات، دی‌سدیم فسفات، تری‌کلرواستیک اسید، اتانول، پتاسیم فری‌سیانید، کلرید فریک، کلرید فرو، رادیکال آزاد DPPH و اتیل استات از شرکت‌های مرک و تتراکم با درجهٔ خلوص آزمایشگاهی تهیه شدند.

سنجش خواص آنتی‌اکسیدانی گرده

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی، با استفاده از روش فولین

[1] Dipeptide and Tripeptide
[2] Aminopeptidases
[3] Bromelain
[4] 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
[5] Bromelain
[6] Angiotensin-converting enzyme

سیوکالتو[1] انجام شد. به این منظور ۵۰۰ میکرولیتر از هر غلظت عصاره با ۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو و ۵۰۰ میکرولیتر محلول کربنات سدیم ۱۰ درصد وزنی/حجمی مخلوط گردید و به‌مدت ۱ ساعت در دمای اتاق و مکان تاریک گرمخانه‌گذاری شد؛ درنهایت جذب آن در طول موج ۷۰۰ نانومتر خوانده شد. مقدار ترکیبات فنلی برحسب میلی‌گرم اسیدگالیک در هر میلی‌لیتر عصاره ازطریق معادلهٔ خط حاصل از منحنی استاندارد تعیین گردید (Deshpande *et al*., 1987).

سنجش فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH

سنجش فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از روش Hmidet و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد. برای‌این‌منظور ۱ میلی‌لیتر از عصارهٔ حل‌شده در اتانول با ۱ میلی‌لیتر از محلول DPPH اتانولی با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط شد، سپس به‌مدت ۵۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفت. جذب مخلوط در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. درنهایت فعالیت مهارکنندگی براساس درصد، طبق رابطهٔ (۱) محاسبه شد.

رابطهٔ (۱)

درصد فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH $= ((A_0-A_1)/A_0)\times 100$

در رابطهٔ (۱)، A_0: جذب کنترل و A_1: جذب نمونه می‌باشد.

سنجش قدرت احیاکنندگی

اندازه‌گیری قدرت احیاکنندگی گردهٔ گل در احیای آهن III با استفاده از از روش Bougatef و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. به‌این‌منظور ۱ میلی‌لیتر از محلول عصاره با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات pH معادل ۶/۶ و ۲/۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری‌سیانید ۱ درصد مخلوط گردید و به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت؛ سپس ۲/۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۱۰ درصد وزنی/حجمی به آن اضافه شد. پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ با دور ۱۶۵۰×g، به ۲/۵ میلی‌لیتر از سوپرناتانت به‌دست‌آمده، ۲/۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول کلریدآهن ۰/۱ درصد اضافه شد. پس از ۱۰ دقیقه جذب آن در طول موج ۷۰۰ نانومتر خوانده شد.

هیدرولیز آنزیمی گردهٔ گل

هیدرولیز گردهٔ گل توسط آنزیم پپسین در دما و pH بهینهٔ این آنزیم انجام شد. آنزیم‌ها در محدودهٔ غلظت ۱ تا ۲ درصد وزنی/وزنی به محلول پروتئینی افزوده شده و هیدرولیز در مدت زمان‌های ۲ تا ۵ ساعت و دمای ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد و pH معادل ۳ در انکوباتورهای شیکردار و در دما و pH ثابت انجام شد.

در انتها در دمای ۸۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه واکنش آنزیمی متوقف شد. برای حذف ترکیبات اضافی، سانتریفیوژ در ۴۰۰۰×g به‌مدت ۳۰ دقیقه انجام شد و سوپرناتانت پس از جمع‌آوری با خشک‌کن انجمادی خشک شد (Villanueva *et al*., 1999; Matsuoka *et al*., 2012; Guo *et al*., 2005).

بررسی ویژگی آنتی‌اکسیدانی گردهٔ زنبورعسل هیدرولیزشده

سنجش فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH

سنجش فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از روش Hmidet و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد.

سنجش قدرت احیاکنندگی

سنجش قدرت احیاکنندگی با استفاده از روش Bougatef و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد.

اثر بازدارندگی ACE (افزایش‌دهندهٔ فشارخون)

این آزمون بر طبق روش Nasri و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد. براساس این روش ۸۰ میکرولیتر از گردهٔ هیدرولیزشده با ۲۰۰ میکرولیتر HHL[2] مخلوط گردید و به‌مدت ۳ دقیقه در دمای ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد. واکنش با افزودن ۲۰ میکرولیتر ACE با غلظت ۰/۱ واحد در میلی‌لیتر آغاز شد و به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد ادامه یافت؛ سپس با افزودن ۲۵۰ میکرولیتر اسیدکلریدریک ۰/۰۵ مولار متوقف گردید. در مرحلهٔ بعد ۱/۷

[1] Folin-Ciocalteu

[2] N-Hippuryl-His-Leuhydrate

میلی‌لیتر اتیل‌استات به مخلوط اضافه شد و به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۸۰۰×g سانتریفیوژ شد. جهت تبخیر اتیل‌استات، سوپرناتانت به‌دست‌آمده به‌مدت ۱۰ دقیقه در آون با دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. رسوب باقی‌مانده در ۱ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل شد و جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر دو پرتویی ماوراء بنفش-مرئی (شرکت PG instrument Ltd T80+، ساخت انگلستان) با طول موج ۲۲۸ نانومتر خوانده شد. درنهایت درصد بازدارندگی از ACE توسط رابطهٔ (۲) محاسبه گردید (Nasri *et al.*, 2013).

رابطهٔ (۲)

ACE درصد بازدارندگی =((B-A)/B)×۱۰۰

در رابطهٔ (۲)، A: جذب مخلوط ACE، HHL و پروتئین هیدرولیزشده و B: جذب مخلوط ACE و HHL می‌باشد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی قبل از انجام هیدرولیز براساس طرح کاملاً تصادفی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics v25 انجام شد. تیماربندی و بهینه‌سازی فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردهٔ گل هیدرولیزشده با استفاده از نرم‌افزار Design Expert با روش سطح پاسخ (RSM[1]) در نقاط مشخص‌شده با طرح مرکب مرکزی انجام شد. مقایسهٔ دوتایی مقادیر پیش‌بینی‌شده با مقادیر واقعی با استفاده از آزمون T-test در نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی

معادلهٔ خط همبستگی که رابطهٔ غلظت محلول اسیدگالیک را با میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۰۰ نانومتر نشان می‌دهد، به‌صورت رابطهٔ (۳) می‌باشد. در این رابطه ضریب همبستگی ۰/۹۸ بود (R^2 =۰/۹۸).

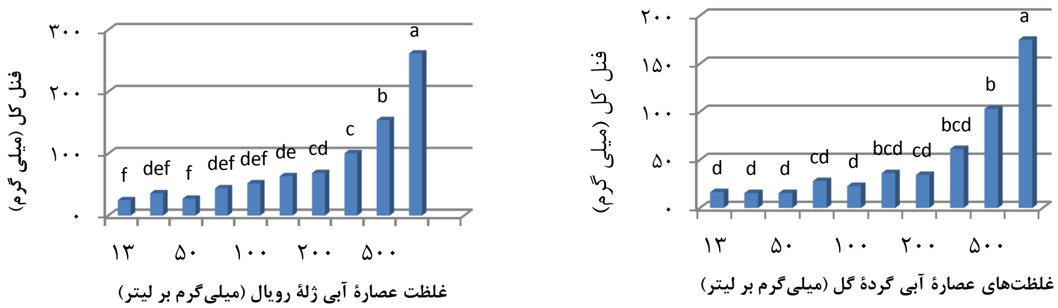
[1] Response Surface Methodology

رابطهٔ (۳)

Y=۰/۰۰۱۱X+۰/۰۱۹۶ R^2= ۰/۹۸

در رابطهٔ (۳)، Y و X: به‌ترتیب معادل جذب نمونه در طول موج ۷۰۰ نانومتر و مقدار کل ترکیبات فنلی براساس میلی‌گرم معادل اسیدگالیک در هر گرم گردهٔ گل می‌باشد. شکل (۱) مقایسهٔ میانگین میزان ترکیبات فنلی در غلظت‌های مختلف عصارهٔ آبی گردهٔ گل و ژلهٔ رویال را نشان می‌دهد. میزان ترکیبات فنلی گردهٔ گل بین ۱۵/۴۸ تا ۱۷۴ میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم گرده و میزان ترکیبات فنلی ژلهٔ رویال بین ۲۴/۹ و ۲۶۱/۸۷ میلی‌گرم اسیدگالیک بر هر گرم ژولهٔ رویال متغیر بود. روند تغییرات میزان ترکیبات فنلی هر دو نمونه با افزایش غلظت عصاره، افزایشی بود و این تغییرات در غلظت‌های ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). میزان ترکیبات فنلی اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش، قابل مقایسه با میزان ترکیبات فنلی اندازه‌گیری‌شده توسط سایر پژوهشگران می‌باشد. به‌عنوان مثال Almeida و همکاران (۲۰۱۶)، میزان ترکیبات فنلی عصارهٔ اتانولی گردهٔ گل را ۱۹/۶۹ میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم گردهٔ گل گزارش کردند. Daoud و همکاران (۲۰۱۵)، ترکیبات فنلی عصارهٔ آبی گردهٔ گل دو واریتهٔ خرما را ۵/۴ تا ۲۳۷/۷۴ و ۱۳/۴۲ تا ۱۹۷/۶۲ میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم گردهٔ گل گزارش کردند. Pascoal و همکاران (۲۰۱۳)، میزان ترکیبات فنلی عصارهٔ متانولی ۸ نوع گردهٔ تجاری اسپانیا و پرتغال را در محدودهٔ ۱۸/۵ تا ۳۲/۱۵ میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم گردهٔ گل گزارش کردند. Liu و همکاران (۲۰۰۸)، میزان ترکیبات فنلی ژلهٔ رویال را در حدود ۲۲۰ میکروگرم اسیدگالیک بر گرم ژلهٔ رویال گزارش کردند که در مقایسه با ترکیبات فنلی ژلهٔ رویال مورد آزمون در پژوهش حاضر بسیار کمتر است. Leblanc و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند در نوع حلال مورد استفاده برای استخراج ترکیبات فنلی، درجهٔ پلیمریزاسیون ترکیبات فنلی گردهٔ گل و ژلهٔ رویال، همچنین واکنش‌های آنها با یکدیگر، فاکتورهای ژنتیکی و مناطق جغرافیایی، تک‌گل یا چندگل‌بودن گرده در میزان و نوع ترکیبات فنلی

گرده‌ها و ژلهٔ رویال مناطق مختلف تأثیرگذار می‌باشد. باتوجه‌به اینکه ژلهٔ رویال از هضم مستقیم گردهٔ گل توسط زنبورعسل حاصل می‌شود، ازنظر میزان ترکیبات فنلی با یکدیگر قابل مقایسه هستند (Bogdanov, 2014). در این پژوهش نیز مشخص شد که در گردهٔ گل و ژلهٔ رویال با افزایش غلظت عصاره، میزان ترکیبات فنلی افزایش می‌یابد، این روند افزایشی در ژلهٔ رویال، از غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عصاره به بعد با شدت بیشتری نسبت به گردهٔ گل قابل مشاهده بود.

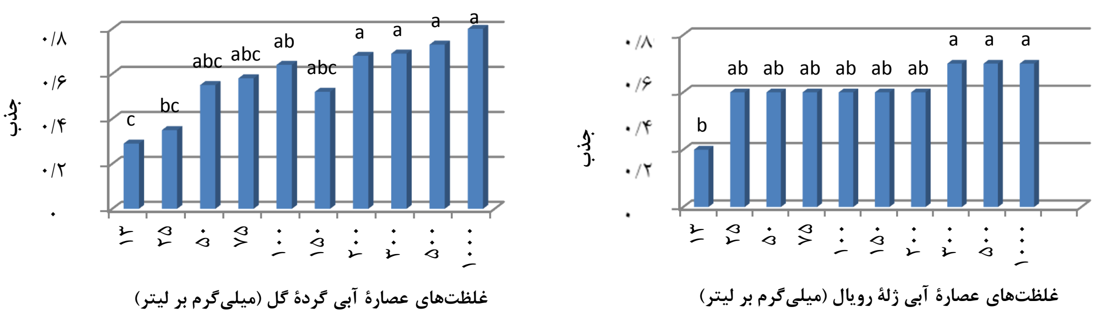


شکل ۱- میزان ترکیبات فنلی غلظت‌های مختلف عصارهٔ آبی گردهٔ گل و ژلهٔ رویال

قدرت احیاکنندگی یون آهن سه‌ظرفیتی

در مطالعهٔ قدرت احیاکنندگی یون آهن سه‌ظرفیتی، احیاء این یون به‌عنوان معیاری برای قابلیت الکترون‌دهی ترکیبات فنلی به‌کار می‌رود. این موضوع سازوکار مهمی را در فرایند اکسایش ترکیبات فنلی تشکیل می‌دهد. ظرفیت‌دهندگی الکترون (قدرت احیاکنندگی) مرتبط با فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات زیستی می‌باشد (Arabshahi *et al.*, 2001). در شکل (۲) مقایسهٔ میانگین قدرت احیاکنندگی غلظت‌های مختلف عصارهٔ آبی گردهٔ گل و ژلهٔ رویال مشخص شده است، این نتایج حاکی از آن بود که قدرت احیاکنندگی غلظت‌های مختلف عصارهٔ گردهٔ گل بین ۰/۲۹ تا ۰/۸ و میزان قدرت احیاکنندگی ژلهٔ رویال بین ۰/۷۴ و ۰/۷۷ متغیر بود. روند تغییرات میزان قدرت احیاکنندگی هر دو نمونه با افزایش غلظت عصاره افزایشی بود، به‌طوری‌که بین قدرت احیاکنندگی در غلظت‌های پایین (۱۲/۵ و ۲۵) با غلظت‌های بالاتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). این یافته با نتایج Morais و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت. اما قدرت احیاکنندگی ژلهٔ رویال و گردهٔ گل اختلاف معنی‌دار و مشخصی نداشتند که می‌توان دلیل آن را یکسان‌بودن نسبی میزان ترکیبات احیاکنندهٔ یون آهن در گردهٔ گل و ژلهٔ رویال دانست (Bogdanove, 2014).

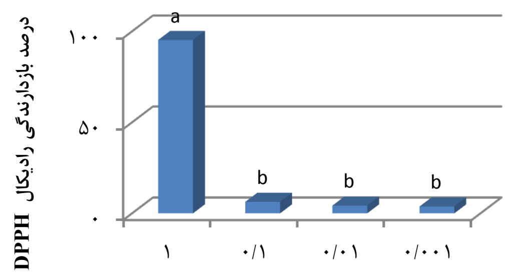
Morais و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند کمترین و بیشترین غلظت عصارهٔ فنلی گرده به‌ترتیب کمترین و بیشترین قدرت احیاکنندگی یون آهن را داشته درحالی‌که بین قدرت احیاکنندگی غلظت‌های میانی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کم‌شدن قدرت احیاکنندگی یون آهن با کاهش غلظت ترکیبات فنلی عصاره را Leblance و همکاران (۲۰۰۹) و Marghitas و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کرده‌اند.



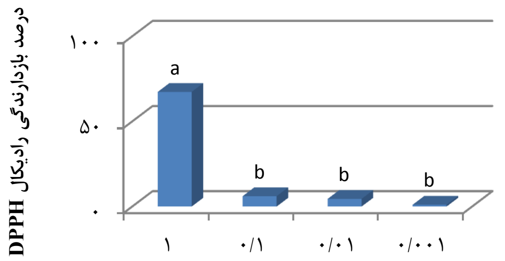
شکل ۲- قدرت احیاکنندگی غلظت‌های مختلف عصارهٔ آبی گردهٔ گل و ژلهٔ رویال

فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH

شکل (۳) نتایج مقایسهٔ میانگین درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH در غلظت‌های مختلف عصارهٔ آبی گردهٔ گل و ژلهٔ رویال را نشان می‌دهد. در شکل (۳) مشخص است که کمترین و بیشترین میزان درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH در گردهٔ گل ۱/۰۵ و ۶۷/۳۳ درصد و در ژلهٔ رویال ۳/۷۵ و ۹۵/۲۷ درصد بود. روند تغییرات درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH در هر دو نمونه، با افزایش غلظت عصاره، افزایشی بود؛ به‌طوری‌که اختلاف در بیشترین غلظت با سایر غلظت‌ها به‌طور قابل توجهی معنی‌دار بود ($P<0/05$). Sun و همکاران (۲۰۰۷)، Kroyer و Hegedus (۲۰۰۱) و Morais و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش نمودند که فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH عصاره‌های فنلی وابسته به غلظت بوده و با افزایش غلظت اثر مهارکنندگی شدت می‌یابد. Liu و همکاران (۲۰۰۸)، میزان قدرت مهار رادیکال DPPH ژلهٔ رویال را ۶۵ درصد گزارش کردند. قدرت مهار رادیکال بالاترین غلظت ژلهٔ رویال مورد آزمون در پژوهش حاضر، ۹۵/۲۷ درصد بود که در مقایسه با گزارش Liu و همکاران (۲۰۰۸) بسیار بالاتر است. این مسأله را می‌توان به تفاوت در میزان ترکیبات فنلی ژلهٔ رویال، منطقهٔ جغرافیایی و پروتئین‌ها و پپتیدهای آنتی‌اکسیدان موجود در ژلهٔ رویال نسبت داد. بین قدرت مهار رادیکال گردهٔ گل و ژلهٔ رویال، اختلاف قابل توجهی مشاهده شد. این اختلاف در بالاترین غلظت عصاره‌های گردهٔ گل و ژلهٔ رویال به بیشترین مقدار خود، یعنی ۲۸ درصد رسید. دلیل بیشتربودن قدرت مهار رادیکال ژلهٔ رویال نسبت به گردهٔ گل را می‌توان به حضور بیشتر پروتئین‌ها و پپتیدهایی در ژلهٔ رویال نسبت داد که زنجیرهٔ جانبی آنها قابلیت به‌دام‌انداختن رادیکال‌های آزاد را دارا هستند. Nagai و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که پروتئین‌های ژلهٔ رویال دارای ویژگی آنتی‌اکسیدانی قوی هستند. Guo و همکاران (۲۰۰۵) پپتیدهای آنتی‌اکسیدان را از پروتئین‌های محلول در آب ژلهٔ رویال جداسازی و شناسایی کردند.



غلظت عصارهٔ آبی ژلهٔ رویال (میلی‌گرم بر لیتر)



غلظت‌های عصارهٔ آبی گردهٔ گل(میلی‌گرم بر لیتر)

شکل ۳ - اثر بازدارندگی رادیکال DPPH در غلظت‌های مختلف عصارهٔ آبی گردهٔ گل

بهینه‌سازی هیدرولیز گردهٔ گل و آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی

باتوجه‌به نقاط تعریف‌شده در روش سطح پاسخ RSM، آزمون‌های مربوطه انجام شد. نتایج آزمون‌های فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردهٔ گل هیدرولیزشده در نقاط مشخص‌شده با طرح مرکب مرکزی در جدول (۱) آورده شده است. در مرحلهٔ بعد داده‌های به‌دست‌آمده تجزیه‌وتحلیل شدند. ضرایب همبستگی و جدول تجزیهٔ واریانس برای هریک از پاسخ‌ها برای آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی احیاکنندگی، مهار رادیکال آزاد DPPH و مهار ACE به‌ترتیب مطابق با جداول (۲)، (۳) و (۴) می‌باشد.

جدول ۱- نتایج آزمون‌های فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردهٔ گل هیدرولیزشده در نقاط مشخص‌شده با طرح مرکب مرکزی

تیمار	غلظت آنزیم (درصد)	زمان (ساعت)	فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH	قدرت احیاکنندگی (میزان جذب در ۷۰۰ نانومتر)	فعالیت مهارکنندگی ACE
۱	۲	۱	۳۴/۰۹	۰/۶۸	۳۴/۰۹
۲	۱/۵	۱	۹۶/۵۱	۰/۶۵	۳۵/۵۸
۳	۱	۱	۸۸/۵۸	۰/۷۵	۶۷/۷۴
۴	۲	۲/۵	۱۰۰	۰/۶۸	۴۴/۳
۵	۱/۵	۲/۵	۹۱/۷۱	۰/۶۱	۲۷/۹۳
۶	۱/۵	۲/۵	۹۳/۶۴	۰/۵۷	۲۸/۹۳
۷	۱/۵	۲/۵	۹۲/۷۱	۰/۶۱	۲۷/۹۳
۸	۱/۵	۲/۵	۹۴/۶۴	۰/۵۷	۲۷/۹۳
۹	۱/۵	۲/۵	۹۵/۷۱	۰/۶۱	۲۷/۹۳
۱۰	۱	۲/۵	۹۱/۰۲	۰/۵۷	۴۴/۲۲
۱۱	۲	۴	۷۱/۸۸	۰/۸۱	۹۱/۴۹
۱۲	۱/۵	۴	۶۶/۶۹	۰/۷۴	۵۸/۲۴
۱۳	۱	۴	۶۷/۲۴	۰/۷۳	۵۷/۶۷

قدرت احیاکنندگی یون آهن سه‌ظرفیتی

نتایج مربوط به تجزیهٔ واریانس و ضرایب همبستگی برای پاسخ‌های قدرت احیاکنندگی گردهٔ هیدرولیزشده در جدول (۲) ذکر شده است. آنالیز سطح پاسخ نشان می‌دهد که در مورد قدرت احیاکنندگی گرده‌های هیدرولیزشده با آنزیم پپسین پارامترهای واکنش از نوع درجهٔ دوم و با ضریب همبستگی (R^2=۰/۹۵) می‌باشد که در رابطهٔ (۴) نشان داده شده است.

رابطهٔ (۴)

$$Y=۰/۷۰۳۴۶-۰/۱۳۵۶۲X_1-۰/۰۸۴۷۴X_2۰/۰۳۸۹+X_1^2 +۰/۰۷۰۴۱X_2^2-۰/۰۱۱X_1X_2$$

در رابطهٔ (۴)، X_1 و X_2: به‌ترتیب متغیرهای زمان هیدرولیز و غلظت آنزیم و Y: قدرت احیاکنندگی می‌باشند.

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که مدل آماری ارائه‌شده برای پیش‌بینی اثر متغیرهای آزمایش بر قدرت احیاکنندگی گردهٔ گل هیدرولیزشده توسط آنزیم پپسین مناسب می‌باشد (P<۰/۰۵). اثر متغیر زمان روی قدرت احیاکنندگی (P<۰/۰۰۰۲)، بیشتر و معنی‌دارتر از متغیر غلظت آنزیم (P<۰/۰۰۱۱) می‌باشد. اثر درجهٔ ۲ زمان و اثر متقابل زمان و غلظت آنزیم بر قدرت احیاکنندگی معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵).

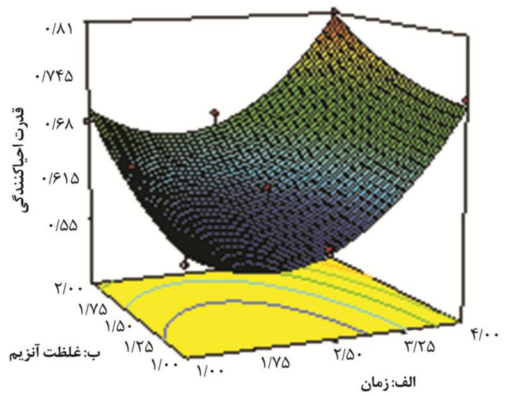
جهت بررسی مناسب‌بودن مدل برای داده‌های این آزمایش از آزمون ضعف برازش مدل (Lack of fit) استفاده شد که باتوجه‌به نتایج جدول (۲)، این فرض برای هر ۳ آنزیم معنی‌دار نشد (P>۰/۰۵). این مسأله بیانگر آن است که مدل به‌خوبی با داده‌های مربوط به قدرت احیاکنندگی گردهٔ هیدرولیزشده تطبیق دارد.

جدول ۲ - جدول تجزیهٔ واریانس برای فعالیت احیاکنندگی یون آهن

	درجهٔ آزادی	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (P)
مدل	۵	۰/۷۰۳۴۶	۰/۰۰۰۲
X_1 (زمان)	۱	−۰/۱۳۵۶۲	۰/۰۰۰۲
X_2 (غلظت آنزیم)	۱	−۰/۰۸۴۷۴	۰/۰۰۱۱
X_1^2	۱	۰/۰۳۸۹	۰/۴۹۰۸
X_2^2	۱	۰/۰۷۰۴۱	۰/۰۰۰۴
X_1X_2	۱	−۰/۰۱۱	۰/۲۳۸۴
Lack of fit	۳		۰/۴۲۵
R^2-Pred		۰/۹۱	
R^2-Adj		۰/۷۴	

نمودار سه‌بُعدی اثر زمان و غلظت آنزیم بر قدرت احیاکنندگی گردهٔ هیدرولیزشده توسط آنزیم پپسین در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طورکه مشخص است، بیشترین قدرت احیاکنندگی تیمارهای هیدرولیزشده با آنزیم پپسین، ۰/۸۱ براساس میزان جذب بود که مربوط به تیمار هیدرولیزشده با غلظت

آنزیم ۲ درصد و مدت زمان هیدرولیز ۴ ساعت می‌باشد. به‌طورکلی در گردهٔ هیدرولیزشده با آنزیم پپسین، با افزایش زمان هیدرولیز تا ۴ ساعت و غلظت آنزیم تا ۲ درصد، روند تغییرات قدرت احیاکنندگی، ابتدا نسبتاً ثابت و سپس افزایشی بوده و در تمام مراحل اثر زمان بیشتر از اثر غلظت آنزیم بود. بنابراین بهتر است برای دستیابی به بیشترین میزان قدرت احیاکنندگی، از محدودهٔ غلظت آنزیم و مدت زمان هیدرولیز بالا استفاده کرد. آغاز روند افزایشی پس از گذشت ۲ ساعت را می‌توان باتوجه‌به گروه تیول در جایگاه فعال آنزیم پپسین توضیح داد. براین‌اساس آنزیم پپسین ترجیحاً اتصالات مجاور اسیدهای آمینهٔ فنیل آلانین، تیروزین و تریپتوفان را می‌شکند. ابتدا با شکسته‌شدن این باندهای پپتیدی خاص و رهاشدن از ساختار اصلی پروتئین‌ها، وزن مولکولی آنها کاهش یافته و سپس با افزایش زمان و پیشرفت فرایند هیدرولیز و شکسته‌شدن بیشتر زنجیره‌های پپتیدی، تولید پپتیدهای با قابلیت اهداء الکترون برای احیاء یون آهن سه‌ظرفیتی به دوظرفیتی افزایش پیدا می‌کند. Lassoued و همکاران (۲۰۱۵)، اعلام کردند علاوه‌بر اختلاف در شرایط آزمایش و نوع آنزیم‌های مورد استفاده، نوع سوبسترا و توالی اسیدآمینه در پپتیدهای تشکیل‌شده، درجهٔ هیدرولیز و طول زنجیرهٔ پپتیدی در عملکرد آنها در احیاء یون آهن مؤثر است. Guerar و همکاران (۲۰۰۲)، اعلام کردند با افزایش غلظت آنزیم، میزان تولید پپتیدها با ویژگی آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد. Je و همکاران (۲۰۰۹) که پروتئین جگر ماهی‌تن را با استفاده از چند نوع پروتئاز هیدرولیز کردند، بیشترین میزان قدرت احیاء یون آهن را با جذب ۰/۴۵ در ۷۰۰ نانومتر گزارش نمودند.



شکل ۴ – نمودار سه‌بُعدی اثر غلظت آنزیم (درصد) و مدت زمان هیدرولیز (ساعت) بر قدرت احیاکنندگی گردهٔ گل هیدرولیزشده

فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH

نتایج مربوط به تجزیهٔ واریانس و ضرایب همبستگی برای پاسخ‌های فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH گردهٔ هیدرولیزشده در جدول (۳) ذکر شده است. آنالیز سطح پاسخ نشان می‌دهد در فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH گردهٔ هیدرولیزشده معادلهٔ واکنش از نوع درجهٔ دوم بوده و ضریب همبستگی آن (R^2=۰/۹۸) می‌باشد (رابطهٔ ۵).

رابطهٔ (۵)

$$Y= ۶۹/۳۸۹۱ + ۲۲/۸۴۹۳۳\ X_1 + ۱/۲۲۵۴۹\ X_2 - ۵/۷۷۵۷۲ X_1^2 + ۳/۶۴۷۲۸ X_2^2 - ۱/۷۳۷۳ X_1X_2$$

در رابطهٔ (۵)، X_1 و X_2: به‌ترتیب متغیرهای زمان هیدرولیز و غلظت آنزیم و Y: قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH می‌باشد.

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که مدل آماری ارائه‌شده برای پیش‌بینی اثر متغیرهای آزمایش بر فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH گردهٔ گل هیدرولیزشده مناسب می‌باشد (*P*<۰/۰۵).

در تمامی تیمارها اثر زمان بر میزان مهار رادیکال DPPH معنی‌دار بود (*P*<۰/۰۵)، و اثر زمان (*P*<۰/۰۰۰۱) معنی‌دارتر از اثر غلظت آنزیم (*P*<۰/۰۰۱۴) بود. همچنین نتایج اثر درجهٔ دوم هریک از متغیرها را بر پاسخ آزمایش معنی‌دار نشان می‌دهد (*P*<۰/۰۵). همچنین جهت مناسب‌بودن مدل برای داده‌های این آزمایش از آزمون ضعف برازش مدل (Lack of fit) استفاده شد که باتوجه‌به نتایج جدول

(۳)، این فرض معنی‌دار نشد (P>۰/۰۵). این مسأله بیانگر آن است که مدل به‌خوبی با داده‌های مربوط به فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH گردهٔ هیدرولیزشده تطبیق دارد.

جدول۳ - تجزیهٔ واریانس فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH

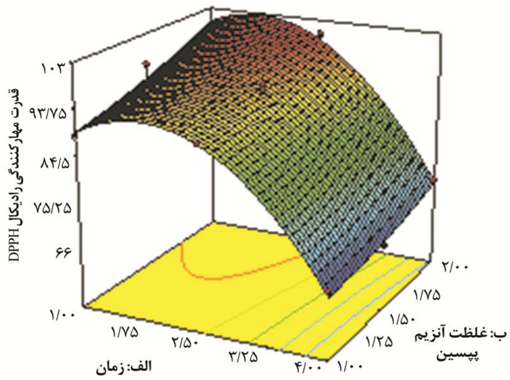
	درجهٔ آزادی	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (P)
مدل	۵	۶۹/۳۸۹۱	<۰/۰۰۰۱
X_1 (زمان)	۱	۲۲/۸۴۹۳	<۰/۰۰۰۱
X_2 (غلظت آنزیم)	۱	۱/۲۲۵۴	۰/۰۰۱۴
X_1^2	۱	-۵/۷۷۵۷	<۰/۰۰۰۱
X_2^2	۱	۳/۶۴۷۲	<۰/۰۰۰۱
X_1X_2	۱	-۱/۷۳۷۳	۰/۲۰۹۳
Lack of fit	۳		۰/۲۵۲۵
R^2- Pred		۰/۹۷	
R^2- Adj		۰/۹۰	

نمودار سه‌بُعدی اثر زمان و غلظت آنزیم را بر فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH گردهٔ هیدرولیزشده با آنزیم پپسین در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طورکه مشخص است، بیشترین قدرت مهار رادیکال DPPH تیمارهای هیدرولیزشده با آنزیم پپسین، ۱۰۰ درصد بود که مربوط به تیمار هیدرولیزشده با غلظت آنزیم ۲ درصد و مدت زمان هیدرولیز ۲ ساعت و ۳۰ دقیقه می‌باشد. به‌طورکلی در گردهٔ هیدرولیزشده با آنزیم پپسین، با افزایش زمان هیدرولیز، همچنین افزایش غلظت آنزیم تا ۲ درصد و روند تغییرات قدرت مهار رادیکال DPPH، ابتدا افزایشی و سپس کاهشی بود. این روند تغییرات با اثر زمان مشخص‌تر بود. بنابراین بهتر است برای دستیابی به بیشترین میزان قدرت مهار رادیکال DPPH، از مدت زمان هیدرولیز متوسط و ترجیحاً غلظت‌های بالای آنزیم استفاده کرد. Je و همکاران (۲۰۰۹) که پروتئین جگر ماهی‌تن را با استفاده از چند نوع پروتئاز هیدرولیز کردند، بیشترین میزان قدرت مهار رادیکال DPPH را حدود ۱۰۰ درصد گزارش کردند. کاهش میزان فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH پروتئین هیدرولیزشده با طولانی‌شدن زمان هیدرولیز، می‌تواند ناشی از پیشرفت مقدار هیدرولیز و اثر بیشتر آنزیم بر پروتئین باشد که باعث شکستن برخی از زنجیره‌های پپتیدی اولیه با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا شده و کاهش فعالیت آنها را به دنبال دارد. Nagai و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از آنزیم‌های پپسین، تریپسین و پاپایین[1] پروتئین‌های گردهٔ گل را هیدرولیزکرده و اعلام داشتند که قدرت مهار رادیکال پروتئین‌های هیدرولیزشده با پپسین، تریپسین و پاپایین، با غلظت‌های ۱ درصد وزنی/حجمی به‌مدت ۴۸ ساعت هیدرولیز، به‌ترتیب ۹۷، ۹۵ و ۹۰ درصد بود. این مقادیر با بیشترین قدرت مهار رادیکال DPPH توسط گرده‌های هیدرولیزشده در پژوهش حاضر قابل مقایسه است.

Je و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند که پپتیدها با وزن مولکولی بین ۱ تا ۳ کیلودالتون بیشترین قدرت مهار رادیکال DPPH را دارند. Marinova و Tchorbanov (۲۰۱۰)، با استفاده از ۴ ساعت هیدرولیز آنزیمی پروتئین‌های گردهٔ گل، پپتیدهایی با قابلیت مهار رادیکال DPPH به میزان ۴۶ درصد دست پیدا کردند؛ درحالی‌که در پژوهش حاضر، پس از ۲ ساعت و ۳۰ دقیقه هیدرولیز میزان مهار رادیکال DPPH به ۱۰۰ درصد رسید و پس از ۴ ساعت هیدرولیز، میزان قدرت مهار رادیکال کاهش یافت. Taheri و همکاران (۲۰۱۱) اعلام کردند پیشرفت فرایند هیدرولیز منجربه رهاسازی پپتیدها با ویژگی آنتی‌اکسیدانی از زنجیره‌های پروتئینی می‌گردد ولی ادامهٔ فرایند هیدرولیز ممکن است باعث کاهش این فعالیت شود. دراین‌زمینه Lassoued و همکاران (۲۰۱۵)، نشان دادند بیشترین قدرت مهار رادیکال DPPH در غلظت‌های ۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر ماهیچه‌های هیدرولیزشده با پروتئاز ۵۱ درصد بود، درحالی‌که این میزان در ماهیچهٔ هیدرولیزنشده ۲۵ درصد گزارش شد. این مقدار در مقایسه با مقدار به‌دست‌آمده در این پژوهش (۱۰۰ درصد) پایین‌تر است. Lassoued و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند پپتیدهایی که دارای کمترین درجهٔ هیدرولیز بودند، بالاترین آب‌گریزی و بیشترین قدرت مهار رادیکال DPPH را از خود نشان دادند. هیدرولیز آنزیمی بیشتر، باعث کوتاه‌ترشدن زنجیره‌های پپتیدی و افزایش

[1] Papain

آب‌دوستی آنها شد و کارایی آنها در مهار رادیکال DPPH کاهش یافت. Zhang و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده نمودند که پپتیدهای با وزن مولکولی کمتر از ۱ کیلودالتون بیشترین قدرت آنتی‌اکسیدانی را دارا هستند. Marinova و Tchorbanov (۲۰۱۰)، اعلام کردند میزان مهار رادیکال DPPH گردهٔ گل از ۲۸ درصد قبل از هیدرولیز به حداکثر ۴۶ درصد بعد از هیدرولیز افزایش یافت.



شکل ۵- نمودار سه‌بُعدی قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH توسط گردهٔ گل هیدرولیزشده در مقابل زمان (ساعت) و غلظت آنزیم پپسین (درصد)

فعالیت بازدارندگی ACE

نتایج مربوط به تجزیهٔ واریانس و ضرایب همبستگی برای پاسخ‌های فعالیت مهارکنندگی ACE گردهٔ هیدرولیزشده در جدول (۴) ذکر شده است. آنالیز روش سطح پاسخ نشان می‌دهد که رابطهٔ فعالیت بازدارندگی ACE گردهٔ هیدرولیزشده با آنزیم پپسین با پارامترهای واکنش از نوع درجهٔ دوم با ضریب همبستگی (R^2=۰/۹۹) می‌باشد (رابطهٔ ۶).

رابطهٔ (۶)

$$Y=۲۸۸/۶۱۴۷-۶۷/۳۷۷۹X_1-۲۴۸/۰۰۷X_2+۸/۲۸۳۹X_1^2+۶۳/۹۵۵۱X_2^2+۲۲/۴۹X_1X_2$$

در رابطهٔ (۶) X_1 و X_2: به‌ترتیب متغیرهای زمان هیدرولیز و غلظت آنزیم و Y: قدرت مهارکنندگی ACE می‌باشد.

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که مدل آماری ارائه‌شده برای پیش‌بینی اثر متغیرهای آزمایش بر فعالیت مهارکنندگی ACE گردهٔ گل هیدرولیزشده مناسب می‌باشد (P<۰/۰۵). اثر متغیر زمان بر میزان مهار ACE توسط تیمارهای هیدرولیزشده معنی‌دار بود (P<۰/۰۰۰۱). درحالی‌که غلظت آنزیم پپسین بر مهار ACE اثری معنی‌دار نداشت. اثر درجهٔ دوم و اثر متقابل هریک از متغیرها بر پاسخ آزمایش معنی‌دار بود (P<۰/۰۰۰۱). باتوجه‌به نتایج جدول (۴)، آزمون ضعف برازش مدل (Lack of fit) معنی‌دار نشد (P>۰/۰۵).

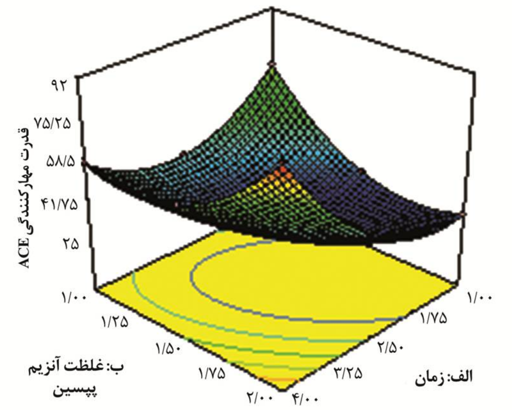
جدول ۴ - جدول تجزیهٔ واریانس برای فعالیت مهارکنندگی ACE

	درجهٔ آزادی	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (P)
مدل	۵	۲۲۸/۶۱۴۷	<۰/۰۰۰۱
X_1 (زمان)	۱	-۶۷/۳۷۷۹	<۰/۰۰۰۱
X_2 (غلظت آنزیم)	۱	-۲۴۸/۰۰۷	۰/۸۱۲
X_1^2	۱	۸/۲۸۳۹	<۰/۰۰۰۱
X_2^2	۱	۶۳/۹۵۵۱	<۰/۰۰۰۱
X_1X_2	۱	۲۲/۴۹	<۰/۰۰۰۱
Lack of fit	۳		۰/۶۱۸۶
R^2- Pred		۰/۹۹	
R^2- Adj		۰/۹۸	

نمودار سه‌بُعدی اثر زمان و غلظت آنزیم بر فعالیت بازدارندگی ACE گردهٔ هیدرولیزشده در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طورکه مشخص است، بیشترین قدرت مهار ACE تیمارهای گردهٔ هیدرولیزشده با آنزیم پپسین، ۹۱/۴۹ درصد بود که مربوط به تیمار هیدرولیزشده با غلظت آنزیم ۲ درصد و مدت زمان هیدرولیز ۴ ساعت می‌باشد. به‌طورکلی در گردهٔ هیدرولیزشده با آنزیم پپسین با افزایش زمان هیدرولیز، روند تغییرات قدرت مهار ACE ابتدا کاهشی و سپس افزایشی بود. زمان هیدرولیز یا غلظت‌های آنزیمی واقع در نقاط گوشه‌ای یا غیرمرکزی نمودار برای دستیابی به بیشترین میزان قدرت مهار ACE مناسب بودند. Coscueta و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند با افزایش مدت زمان هیدرولیز پروتئین آرد سویا با آنزیم کرولاز تا ۱۰ ساعت، پپتیدهایی با وزن مولکولی کمتر از ۳ کیلودالتون تولید شد و با افزایش مدت زمان هیدرولیز، قدرت بازدارندگی ACE افزایش یافت. Je و همکاران (۲۰۰۹)، بیشترین میزان قدرت بازدارندگی ACE در

پروتئین جگر ماهی‌تن هیدرولیزشده با آنزیم‌های مختلف پروتئومیکس[1]، آلکالاز، نوترئاز[2]، فلاورزایم[3] را ۳۶ درصد گزارش کردند که در مقایسه با بیشترین میزان بازدارندگی در پژوهش حاضر بسیار پایین‌تر است. Lassoued و همکاران (۲۰۱۵)، اثر بازدارندگی ACE ماهیچه‌های هیدرولیزشده با چند پروتئاز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد بیشترین اثر بازدارندگی ACE مربوط به غلظت‌های ۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تیمارهای هیدرولیزشده با آنزیم نوترئاز با میزان ۸۷ درصد و بعد از آن مربوط به تیمار هیدرولیزشده با آلکالاز، ۸۴ درصد بود. این مقدار با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش قابل مقایسه بود. دراین‌زمینه Je و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند که افزایش درجهٔ هیدرولیز، به‌طور قطعی باعث افزایش قدرت بازدارندگی ACE نمی‌گردد، اما Nasri و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که قدرت بالای بازدارندگی ACE ماهیچهٔ هیدرولیزشده ارتباط زیادی با حضور پپتیدهای کوتاه‌زنجیر دارد. در پژوهش حاضر نیز بیشترین قدرت بازداندگی ACE در بیشترین مدت زمان هیدرولیز به‌دست آمد؛ زیرا پس از سپری‌شدن مدت زمان طولانی‌تر، پپتیدها با زنجیرهٔ کوتاه‌تر تشکیل می‌گردند. اما به‌طورکلی تفاوت در میزان بازدارندگی ACE ممکن است به‌دلیل تفاوت در ماهیت آب‌گریزی-آب‌دوستی پپتیدها، وزن مولکولی و توالی اسیدآمینه در پپتیدهای ایجادشده باشد. میزان بالای ویژگی آب‌دوستی پپتیدها باعث می‌شود قابلیت دسترسی آنها به جایگاه فعال ACE کاهش یابد؛ بنابراین وجود تعادل در ویژگی آب‌دوستی-آب‌گریزی پپتیدها بسیار حائز اهمیت است. Ktari و همکاران (۲۰۱۴) اثر بازدارندگی ACE در غلظت‌های مختلف پروتئین هیدرولیزشدهٔ ماهی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان بازدارندگی ۸۰/۵ درصد و مربوط به بالاترین غلظت پروتئین مورد آزمون (۲۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود. این مقدار باتوجه‌به غلظت پروتئین هیدرولیزشدهٔ مورد استفاده، با بیشترین مقادیر بازدارندگی ACE در پژوهش حاضر قابل مقایسه است. همچنین آنها اعلام کردند که بالاترین میزان بازدارندگی ACE مربوط به پپتیدهایی بود که ویژگی آب‌گریزی بالایی داشتند، زیرا پپتیدهای آب‌گریز جاذبهٔ بیشتری به قرارگیری در مکان فعال ACE از خود نشان دادند.

پپتیدهای بازدارندهٔ ACE به ۲ طریق می‌توانند فعالیت کنند: پپتیدها یا به جایگاه فعال ACE متصل می‌شوند یا ممکن است بر مکان‌های بازدارنده‌ای که در ACE قرار دارند، متصل و منجربه تغییر ساختار فضایی پروتئین شده و از اتصال بعدی سوبسترا (آنژیوتنسین[4]) به مکان فعال آنزیم جلوگیری کند. Nasri و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از ۵ نوع پروتئاز گوارشی، پروتئین‌های ماهی Goby[5] را به‌مدت ۶ ساعت و با نسبت ۱ به ۳ آنزیم به پروتئین هیدرولیز کردند. نتایج نشان داد قدرت بازدارندگی ACE در ۵ تیمار در محدودهٔ ۵۶ تا ۹۹ درصد بود که ازنظر مقداری با داده‌های پژوهش حاضر قابل مقایسه است. بالاتربودن قدرت مهار ACE در گرده‌های هیدرولیزشده در شرایط آزمایشگاه، نسبت به ژلهٔ رویال را می‌توان به تولید پپتیدهای زنجیرهٔ کوتاه‌تر با ویژگی آب‌گریزی-آب‌دوستی مناسب، وزن مولکولی کمتر و توالی اسیدآمینه‌های خاصی که در شرایط هیدرولیز آزمایشگاهی حاصل شده‌اند، نسبت داد (Paiva *et al.*, 2016).



شکل ۶ - نمودار سه‌بُعدی برای قدرت مهارکنندگی ACE توسط گردهٔ گل هیدرولیزشده در مقابل زمان (ساعت) و غلظت آنزیم پپسین (درصد)

[1] Protamex
[2] Neutrase
[3] Flavourzyme
[4] Angiotensin
[5] *Zosterissessor ophiocephalus*

بهینه‌سازی فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردهٔ هیدرولیزشده در فرایند هیدرولیز

شرایط بهینه برای فعالیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیزشدهٔ گرده به روش سطح پاسخ (RSM) پیش‌بینی شد. این شرایط شامل مدت زمان ۴ ساعت و ۲ درصد غلظت آنزیم پپسین بود. جهت ارزیابی اعتبار مدل آماری و اطمینان از پاسخ‌ها در شرایط بهینهٔ پیش‌بینی‌شده، در این شرایط کلیهٔ پاسخ‌ها مجدد بررسی و اندازه‌گیری شد و با مقادیر پیش‌بینی شده مورد مقایسه قرار گرفتند. جدول (۵) مقایسهٔ مقادیر پیش‌بینی‌شده در شرایط بهینهٔ پیشنهادی توسط روش سطح پاسخ با واقعی پس از انجام آزمون در شرایط آزمایشگاهی براساس شرایط بهینهٔ تعیین‌شده را نشان می‌دهد.

جدول ۵ - مقادیر پیش‌بینی‌شده و واقعی و نتایج مقایسهٔ دوتایی

فاکتورهای اندازه‌گیری‌شده	مقادیر پیش‌بینی‌شده	مقادیر واقعی	سطح معنی‌داری (P) در مقایسهٔ دوتایی
قدرت مهار رادیکال DPPH (درصد)	۷۱/۵۱	۷۳/۷۱	۰/۱۷۸
قدرت احیاکنندگی(جذب)	۰/۸	۰/۷۱	۰/۳۶۲
قدرت مهار ACE (درصد)	۹۱/۳۱۶	۹۲/۷۹۳	۰/۱۸۸

همان‌طورکه در جدول (۵) مشخص است سطوح معنی‌داری (P) برای پاسخ‌ها نشان‌دهندهٔ عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و واقعی بود. این شرایط بیانگر آن است که روش سطح پاسخ و مدل پیشنهادی به‌صورت مناسب می‌تواند اثر دو متغیر زمان و غلظت آنزیم را بر فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH، قدرت احیاکنندگی و قدرت بازدارندگی ACE گردهٔ هیدرولیزشده نشان دهد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی مشخص شد که با انجام عمل هیدرولیز، ویژگی آنتی‌اکسیدانی و مهار ACE گردهٔ گل افزایش پیدا کرد. به‌طوری‌که قدرت مهار رادیکال DPPH از ۶۷/۳۳ درصد در گردهٔ هیدرولیزنشده به ۱۰۰ درصد و قدرت مهار ACE گردهٔ گل از ۱۵/۵۴ درصد در گردهٔ هیدرولیزنشده به ۹۱/۴۹ درصد در گردهٔ هیدرولیزشده ارتقاء پیدا کرد. بنابراین بعد از انجام عمل هیدرولیز، قدرت مهار رادیکال DPPH گردهٔ گل به قدرت مهار رادیکال ژلهٔ رویال (۹۵/۲۷ درصد) نزدیک‌تر شد و قدرت مهار ACE گردهٔ گل به مقدار قابل توجهی از قدرت مهار ACE ژلهٔ رویال بیشتر گردید. این مسأله نشان می‌دهد که بخشی از ویژگی آنتی‌اکسیدانی ژلهٔ رویال علاوه‌بر ترکیبات فنلی، مربوط به پروتئیین‌ها و پپتیدهایی است که به‌طور طبیعی در ژلهٔ رویال وجود دارد. باتوجه‌به اینکه تنها منبع اصلی پروتئینی زنبورعسل برای تهیهٔ ژلهٔ رویال، گردهٔ گل است، می‌توان ادعا کرد که با هیدرولیزشدن پروتئیین‌های گردهٔ گل تا حدی می‌توان آنها را به پپتیدهای موجود در ژلهٔ رویال نزدیک کرد.

منابع

1- Almeida, J.F., Reis, A.S., Heldt, L.F.S., Pereira, D., Bianchin, M., Moura, C., Plata-Oviedo, M.V., Haminiuk, C W.I., Ribeiro, I.S., Luz, C.F.P., & Carpes, S.T. 2016. Lyophilized bee pollen extract: A natural antioxidant source to prevent lipid oxidation in refrigerated sausages. LWT - Food Science and Technology, 76(B):299-305.

2- Arabshahi, S., Ardestani, A., & Yazdanparast, R. 2001. Quantitative assessment of antioxidant properties of natural colorants and phytochemicals: carotenoids, flavenois, phenols and indigoids. The role of B-carotene in antioxidants functions. Journal of Science of Food and Agriculture, 81(6):559-568.

3- Bogdanov, S. 2014. Royal jelly, bee brood: composition, health, medicine: a review. Bee Product Science, 28 (3):118-153.

4- Bougatef, A., Hajji, M., & Balti, R. 2009. Antioxidant and free radical-scavenging activities of smoth hound muscle protein hydrolysates obtained by gastro intestinal proteases. Food Chemistry, 114(4):1198-1255.

5- Coscueta, R.F., Amorim, M.M., Voss, G.B., Nerli, B.B., Picó, G.A., & Pintado, M.A. 2016. Bioactive properties of peptides obtained from argentinian defatted soy flour protein by corolase pp hydrolysis. Food Chemistry, 198:36-44.

6- Daoud, A., Malika, D., Bakari, S., Hfaiedh, N., Mnafgui, K., Kadri, A., & Gharsallah, N. 2015. Assessment of polyphenol composition, antioxidant and antimicrobial properties of various extracts of date palmpollen (dpp) from two tunisian cultivars. Arabian Journal of Chemistry, 48:437-447.

7- Deshpande, S., Chryan, M., & Salunkhe, D. 1987. Tanin analysis of food products. Critical Review in Food Nutrition, 24:41-49.

8- Guerar, F., Guimas, L., & Binet, A. 2002. Production of tuna waste hydrolysates by a commercial neutral protease preparation. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 19-20:489-498.

9- Guo, H., Ekusa, A., Iwai, K., Yonekura, M., Takahara, Y., & Morimatsu, F. 2009. Royal jelly peptides inhibit lipid peroxidation in vitro and in vivo. Journal of Nutural Science and Vitaminology, 54:191-195.

10-Guo, H., Kozuma, Y., & Yonekura, M. 2005. Isolation and properties of antioxidative peptides from water-soluble royal jelly protein hydrolysate. Food Science and Technology Research, 11(2): 222-230.

11-Hmidet, N., Balti, R., Nasri, R., Sila, A., Bougatef, A., & Nasri, M. 2011. Improvement of functional properties and antioxidant activities of cuttlefish (*sepia officinalis*) muscle proteins hydrolyzed by bacillus mojavensis A21 proteases. Food Research International, 44(9): 2703-2711.

12-Je, J.Y., Lee, M.H., Lee, K.H., & Ahn, C.B. 2009. Antioxidant and hypertensive protein hydrolysates produced from tuna liver by enzymatic hydrolysis. Food Research International, 42(9): 1266-1272.

13-Kawashima, K., Itoh, H., Miyoshi, M., & Chibata, I. 1979. Antioxidant properties of branched-chain amino acid derivatives. Chemical Pharmacological Bulletin, 27(8):1912-1916.

14-Khantaphant, S., & Benjakul, S. 2008. Comparative study on the proteases from fish pyloric caeca and the use for production of gelatin hydrolysate with antioxidative activity. Comparative Biochemistry and Physiology, 151(4):110-115.

15-Kishimura, H., & Benjakul, S. 2011. Antioxidative and ACE inhibitory activities of protein hydrolysates from the muscle of brownstripe red snapper prepared using pyloric caeca and commercial proteases. Process Biochemistry, 46(1):318-327.

16-Kroyer. G., & Hegedus, N. 2001. Evaluation of bioactive properties of pollen extracts as functional dietary food supplement. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2(3):171-174.

17-Ktari, N., Nasri, R., Mnafgui, K., Hamden, K., Belguith, O., Boudaouara, T., Feki, A.E, & Nasri, M. 2014. Antioxidative and ACE inhibitory activities of protein hydrolysates from zebra blenny (*Salaria basilisca*) in alloxan-induced diabetic rats, Process Biochemistry, 49(5):890-897.

18-Lassoued, I., Mora, L., Nasri, R., Aydi, M., Toldrá, F., Aristoy, M., C., Barkia, A., & Nasri, M. 2015. Characterization, antioxidative and ACE inhibitory properties of hydrolysates obtained from thornback ray (*Raja clavata*) muscle. Journal of Proteomics, 128:458-468.

19-LeBlanc, B.W., Davis, O.K., Boue, S., DeLucca, A., & Deeby, A. 2009. Antioxidant activity of Sonoran Desert bee pollen. Food Chemistry, 115(4):1299-1305.

20-Liu, J.R., Yang, Y.C., Shi, L.S., & Peng, C.C. 2008. Antioxidant properties of royal jelly associated with larval age and time of harvest. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 56(23):11447-11452.

21-Marghitas, L.A., Stanciu, O.G., Dezmirean, D.S., Bobis, O., Popescu, O., Bogdanov, S., & Campos, M.S. 2009. In vitro antioxidant capacity of honeybee-collected pollen of selected floral origin harvested from Romania. Food Chemistry, 115(3):878-883.

22-Marinova, M., & Tchorbanov, P. 2010. Preparation of antioxidant enzymatic hydrolysates from honeybee-collected pollen using plant enzymes. Enzyme Research, 41:5949-50.

23-Matsuoka, T., Kawashima, T., Nakamura, T., Kanamaru, Y., & Yabe, T. 2012. Isolation and characterization of proteases that hydrolyze royal jelly proteins from queen bee larvae of the honeybee,*Apis mellifera*. Apidologie, 43(6):685-697.

24-Morais, M., Moreira, L., Feás, X., & Estevinho, L.M. 2011. Honeybee-collected pollen from five portuguese natural parks: Palynological origin phenolic content antioxidant properties and antimicrobial activity. Food and Chemical Toxicology, 49(4):1096-1101.

25-Nagai, T., Inoue, R., Suzuki, N., Myoda, T., & Nagashima, T. 2005. Antioxidative ability in a linoleic acid oxidation system and scavenging abilities against active oxygen species of enzymatic hydrolysates from pollen Cistus ladaniferus. International Journal of Molecular Medicine, 15(2):259-63.

26-Nagai, T., & Inoue, R. 2004. Preparation and the functional properties of water extract and alkaline extract from royal jelly. Food Chemistry, 84(2):181-186.

27-Nasri, R., Younes, I., Jridi, M., Trigui, M., Bougatef, A., Arroume, N., Dhulster, P., Nasri. M., & Châabouni, M.K., 2013. ACE inhibitory and antioxidative activities of goby (*zosterissessor ophiocephalus*)fish protein hydrolysates: effect on meat lipid oxidation. Food Research International, 54(1):552-561.

28-Pascoal, A., Rodrigues, S., Teixeira, A., Feás, X., & Estevinho L,M.. 2013. Biological activities of commercial bee pollens: antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory. Food and Chemical Toxicology, 63(1): 233-239.

29-Paiva, L., Lima, E., Neto, A.I., & Baptista, B. 2016. Isolation and characterization of angiotensin i-converting enzyme (ace) inhibitory peptides from ulva rigida c. Agardh protein hydrolysate. Journal of Functional Foods, 26:65-76.

30-Salampessy, J., Reddy, N., Kailasapathy, K., & Phillips, M. 2015. Functional and potential therapeutic ACE-inhibitory peptides derived from bromelain hydrolysis of trevally proteins. Journal of Functional Foods, 14:716-725.

31-Sun, L., Powers, J.R., & Tang, J. 2007. Evaluation of antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. Food Chemistry, 105(1):101-106.

32-Taheri, A., AbedianKEnari, A., Motamedzadegan, A., & Habibi Rezaei, M. 2011. Optimization of goldstripe sardine protein hydrolysate using alcalase 2.4L by RSM. Journal of Food Science, 9(2):114-120.

33-Villanueva, A., Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., Clemente, A., Pedroche, J., Bautista, J., & Millán, F. 1999. Peptide characteristics of sunflower protein hydrolysates. Journal of the American Oil Chemists Society, 76(12):1455-1460.

34-Wiriyaphan, C., Chitsomboon, B., & Yongsawadigul, J. 2012. Antioxidant activity of protein hydrolysates derived from threadfin bream surimi byproducts. Food Chemistry, 132(1):104-111.

35-Zhang, M., Mu, T.-H., & Sun, M.-J. 2014. Purification and identification of antioxidant peptides from sweet potato protein hydrolysates by alcalase. Journal of Functional Foods, 7:191-200.

Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Bee Pollen Protein by Pepsin Based on Antioxidant and ACE Inhibitory Activity and Comparison with Those of Royal Jelly

Atefe Maqsoudlou[1], Alireza Sadeghi Mahoonak[2*], Mohamad Ghorbani[2], Fidel Toldra[3]

1- PhD Student, Department of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Associate, Department of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
* Corresponding author (sadedeghiaz@gau.ac.ir)
3- Professor -Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), Valencia, Spain

Abstract

In this study optimization of the enzymatic hydrolysis condition of bee pollen protein by pepsin and the effect of enzymatic hydrolysis on its antioxidant properties was investigated. Also, the results were compared with antioxidant properties of royal jelly. For this purpose, phenolic compounds, DPPH free radical scavenging activity and ferric ion reducing power of bee pollen and royal jelly were measured. The values of these factors for bee pollen and royal jelly (1000 ppm), were 174 and 1031.71 (mg Gallic acid/ g sample), 67.33% and 95.27% and absorbance of 0.77 and 0.8 at 700 nm, respectively. The highest reducing power of 0.81 was measured in samples which were hydrolyzed by 2% pepsin for 4 h. Also, the highest DPPH radicals scavenging power was 100% which was achieved in hydrolyzed samples by 2% pepsin for 2.5 h. The highest ACE inhibitory activity was 91.49% in hydrolyzed samples by 2% pepsine for 4 h. The results showed that the DPPH radical scavenging power of bee pollen increased from 67.33% to 100% and ACE inhibitory activity increased from 15.54% to 91.49% after enzymatic hydrolysis. The DPPH radical scavenging power and ACE inhibitory activity of bee pollen hydrolysats were comparable to those of royal jelly.

Key words: ACE, Antioxidant Activity, Bee Pollen, Enzymatic hydrolysis, Royal Jelly

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۷۴-۶۵

JRIFST

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

تأثیر پیش‌فرایند ریزموج بر پایداری اکسایشی و برخی خصوصیات کمی و کیفی روغن استخراج‌شده از دانه‌های کُلزا

معصومه مقیمی[۱]، عادل بیگ بابایی[۲]، حمید بخش‌آبادی[۳]، مرتضی محمدی[۴*]، شیلان رشیدزاده[۵]

۱- استادیار، گروه شیمی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران
۲- استادیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران
۴- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
* نویسندهٔ مسئول (mohamadi2003@yahoo.com)
۵- مربی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه غیرانتفاعی ساعی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۶

واژه‌های کلیدی
پایداری اکسایشی
پیش‌تیمار ریزموج
راندمان استخراج
روغن کُلزا

چکیده

روغن کُلزا در مقایسه با روغن‌های آفتاب‌گردان، ذرت و سویا به‌دلیل حضور اسیدهای چرب غیراشباع و فاقد کلسترول از کیفیت تغذیه‌ای بالاتری برخوردار است. در این تحقیق، اثر زمان فرایند ریزموج (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰، ۲۴۰ و ۲۷۰ ثانیه) را بر میزان ترکیبات فنلی، پایداری اکسایشی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن کُلزا ازقبیل راندمان استخراج روغن، دانسیته، ضریب شکست و اسیدیتهٔ روغن با استفاده از طرح کاملاً تصادفی ساده با ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان فرایند ریزموج، دانسیته و شاخص رنگ روغن افزایش یافت. افزایش زمان فرایند ریزموج در ابتدا منجربه‌افزایش راندمان استخراج روغن، اسیدیته، پایداری اکسایشی و فنل کل گردید و سپس آنها را کاهش داد. برای مثال با افزایش زمان ریزموج تا ۲۴۰ ثانیه، راندمان استخراج روغن افزایش ولی با افزایش بیشتر زمان فرایند منجربه‌کاهش راندمان استخراج روغن شد. آنالیز واریانس داده‌های حاصل از ضریب شکست روغن‌ها نشان داد که زمان فرایند ریزموج بر ضریب شکست روغن‌ها تأثیر معنی‌دار نداشت (P>۰/۰۵). باتوجه‌به اطلاعات به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌توان بیان داشت که استفاده از فرایند ریزموج (برای ۱۵۰ ثانیه) به‌منظور تیماردهی دانه‌های کُلزا قبل از استخراج روغن با پرس مارپیچی در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی روغن حاصله مؤثر واقع گردید.

مقدمه

کانولا یا کُلزای[۱] اصلاح‌شده از ارقام *براسیکاناپوس*[۲] و *براسیکاراپا*[۳] تولید می‌شود که میزان گلوکوزینولات[۴] کنجاله و اسیداروسیک روغن موجود در آنها به‌ترتیب کمتر از ۳۰ میکرومول و کمتر از ۲ درصد در هر گرم روغن می‌باشد. کُلزا پس از سویا و نخل روغنی، سومین منبع تولید روغن‌نباتی جهان بشمار می‌رود. روغن کانولا در مقایسه با روغن‌های آفتاب‌گردان، ذرت و سویا به‌دلیل حضور اسیدهای چرب غیراشباع و فاقد

[1] Canola or rapeseed
[2] *Brassica napu*
[3] *Brassica rapa*
4 Glucosinolate

کلسترول از کیفیت تغذیه‌ای بالاتری برخوردار است (Shahidi, 2005). کنجالهٔ کُلزا تقریباً ۵۸-۵۰ درصد وزن دانه‌ها را برحسب مادهٔ خشک تشکیل می‌دهد که دارای ۴۳-۳۸ درصد پروتئین می‌باشد. در تهیهٔ ایزولهٔ پروتئینی ازآنجایی‌که از ارقام دو صفر (کانولا) استفاده می‌گردد، مقدار گلوکوزینولات آن در کنجاله و در نتیجه ایزولهٔ پروتئینی آن در حد بسیار پایین و مجاز خواهد بود (Dua & Kaur, 1993). روغن گرفته‌شده از کُلزا حاوی یک پروفایل مطلوب از اسیدهای چرب با سطح پایین اسیدهای چرب اشباع‌شده (۷ درصد)، سطح بالای اسیدهای چرب غیراشباع تک‌باندی (حدود ۶۱ درصد) و سطح متوسطی از اسیدهای چرب غیراشباع چندباندی (حدود ۳۲ درصد) می‌باشد. با این ترکیب روغن کُلزا واجد شرایط لازم جهت مصارف خوراکی می‌باشد (شریعتی و قاضی شهنی‌زاده، ۱۳۷۹). در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳، سطح زیرکشت کُلزا در کشور حدود ۴۰/۲ هزار هکتار بود که از این مقدار، ۸۴/۸۷ درصد آن به کشت آبی و ۱۵/۱۳ درصد به کشت دیم اختصاص داشت. استان اردبیل با ۱۶/۵۹ درصد تولید کُلزا در جایگاه نخست تولید کُلزا در کشور قرار گرفته است و بعد از آن به‌ترتیب استان‌های گلستان، خوزستان، مازندران و قزوین قرار گرفته‌اند (آمارنامهٔ کشاورزی، ۱۳۹۴). دانهٔ کُلزا با ۸ درصد رطوبت، حاوی ۳۸ تا بیش از ۴۰ درصد روغن می‌باشد. لذا مؤثرترین روش استخراج روغن کُلزا، مانند سایر دانه‌های با درصد روغن بالا نظیر آفتاب‌گردان، پرس مکانیکی گرم و سرد و به دنبال آن استخراج با حلال می‌باشد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴). اما درعین‌حال استفاده از حلال، معایبی همچون زمان طولانی فرایند، هزینه‌های بالا، مسائل ایمنی، انتشار ترکیبات آلی فرار به محیط و کیفیت پایین محصولات فراوری‌شده در دماهای بالا را نیز به همراه دارد (Anderson, 1996). استفاده از پرس در استخراج روغن به‌تنهایی ناکافی بوده زیرا میزان زیادی از روغن در خوراک باقی می‌ماند که سپس ازطریق حلال استخراج می‌گردد. ریزموج‌ها[1]، امواج الکترومغناطیسی غیریونیزه با فرکانس بین ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز هستند و میان اشعهٔ رادیویی و اشعهٔ مادون‌قرمز در طیف الکترومغناطیسی قرار دارند که از دو میدان عمودی نوسانی یعنی میدان الکتریکی و مغناطیسی ساخته می‌شوند. حرارت‌دهی معمولی وابسته به پدیدهٔ هدایت-جابجایی بوده و سرانجام مقدار زیادی از انرژی حرارتی ازطریق محیط از دست می‌رود درحالی‌که با این امواج، حرارت‌دهی در یک مسیر مشخص و انتخابی و بدون اتلاف حرارت به محیط اتفاق می‌افتد یعنی همانند حرارت‌دهی که در یک سیستم بسته صورت می‌گیرد. اصول حرارت‌دهی با ریزموج‌ها، براساس تأثیر مستقیم امواج با حلال و مواد قطبی بوده و به‌وسیلهٔ دو پدیدهٔ انتقال یونی و چرخش دوقطبی اثر می‌گذارد که در بیشتر موارد هم‌زمان اتفاق می‌افتد (Mandal *et al*., 2008).

این امواج همچنین موجب تبخیر آب از ساختار مواد گیاهی و افزایش فشار در محیط داخلی آنها می‌گردند. Bakhshabadi و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از دانه‌های سیاه‌دانه به کمک پیش‌تیمار ریزموج از زمان‌های مختلف فرایند (۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ ثانیه) و توان‌های مختلف (۱۸۰، ۵۴۰ و ۹۰۰ وات) استفاده کردند و بعد از اعمال این پیش‌تیمارها، روغن دانه‌ها را با پرس مارپیچی و با سرعت‌های متفاوت (۱۱، ۳۴ و ۵۷ دور در دقیقه) استخراج نمودند و میزان کارایی فرایند استخراج، پایداری اکسایشی[2]، شاخص پراکسید و اسیدیته، مقدار مقدار توانایی مهار رادیکال‌های DPPH[3] و ضریب شکست نمونه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش توان ریزموج و زمان فرایند، کارایی فرایند استخراج، شاخص اسیدیته و پراکسید روغن افزایش ولی میزان پایداری اکسایشی در روغن کاهش یافت. Anjum و همکاران (۲۰۰۶)، اثرات ریزموج‌ها را روی ترکیبات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسایشی روغن دانهٔ آفتاب‌گردان مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه‌ها نشان داد که امواج ریزموج میزان روغن باقی‌مانده در کنجاله‌ها، عدد یُدی و میزان توکوفرول‌ها را کاهش ولی میزان اسیدهای چرب آزاد، دانسیته و مقدار رنگ روغن‌ها را افزایش داد. باتوجه‌به

---

[1] Microwave

[2] Oxidative Stability

[3] 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

اینکه تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی درزمینهٔ استخراج روغن از دانه‌های کُلزا با استفاده از ریزموج‌ها به‌عنوان پیش‌تیمار پرس مارپیچی صورت نگرفته است به‌همین‌دلیل در پژوهش حاضر سعی شده است تأثیر زمان فرایند ریزموج را بر خصوصیات روغن حاصل از دانه‌های کُلزا مورد بررسی قرار دهند.

مواد و روش‌ها

دانه‌های کُلزا (واریتهٔ هایولا ۴۰۱) مورد استفاده در این تحقیق از استان گلستان، شهرستان گنبدکاووس تهیه و برای تولید روغن به دانشگاه آزاد اسلامی واحد گنبدکاووس انتقال یافتند. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق شامل: هگزان، هیدروکسیدسدیم، فنل فتالئین، فولین سیوکالتو[1]، کربنات سدیم و الکل اتیلیک که از شرکت مرک آلمان تهیه شد. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق شامل دستگاه اسپکتروفتومتر (Biochrom، ساخت انگلستان)، الک آزمایشگاهی، دستگاه آسیاب (Huddinge 14105، ساخت سوئد)، دسیکاتور، آون آزمایشگاهی (Memert، ساخت آلمان)، پیکنومتر، ترازوی دیجیتال (Gec Avery، ساخت انگلستان)، دستگاه ریزموج (LG، ساخت کره جنوبی)، دستگاه رنسیمت[2] (Metrohm، ساخت سوئیس) و پرس مارپیچی آزمایشگاهی (Kern Kraft، ساخت آلمان) می‌باشند.

آماده‌سازی نمونه و استخراج روغن

در این تحقیق، دانه‌های کُلزا (حاوی ۴۲/۳ درصد روغن) پس از تهیه، بوجاری‌شده و در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم نسبت به نفوذ هوا و رطوبت تا زمان آزمایش‌ها نگهداری شدند. سپس، آنها تحت تأثیر زمان‌های مختلف ریزموج (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰، ۲۵۰ و ۲۷۰ ثانیه) قرار گرفتند (توان و فرکانس دستگاه ریزموج به‌ترتیب ۵۴۰ وات و ۲۴۵۰ مگاهرتز بود)، بعد از اعمال این تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس مارپیچی و با سرعت ۳۳ دور در دقیقه استخراج گردید و روی این روغن‌ها، آزمایش‌های مختلف، صورت گرفت.

راندمان استخراج روغن

با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ و با استفاده از رابطهٔ (۱) به‌دست آمد (Bakhshabadi *et al.*, 2017).

رابطهٔ (۱)

$$R = \frac{Q}{X} \times 100$$

در رابطهٔ (۱)، R: راندمان روغن‌کشی به درصد، Q: مقدار روغن استخراج‌شده به گرم، X: وزن دانه‌های اولیه به گرم می‌باشد.

شاخص رنگ

برای سنجش رنگ که اغلب مخلوطی از رنگ‌های قرمز و زرد است از روش اسپکتروفتومتری استفاده شد. برای‌این‌منظور میزان جذب نور، روغن را در طول موج‌های ۴۶۰، ۵۵۰، ۶۲۰ و ۶۷۰ نانومتر اندازه‌گیری و سپس از رابطهٔ (۲) برحسب رنگ زرد لاویباند[3] مقدار رنگ اندازه‌گیری شد (AOCS, 1993).

رابطهٔ (۲)

شاخص رنگ= $۱/۲۹A_{۴۶۰}+۷/۶۹A_{۵۵۰}+۴۱/۲A_{۶۲۰}-۵۶/۴A_{۶۷۰}$

تعیین دانسیته

برای اندازه‌گیری دانسیتهٔ روغن‌ها از پیکنومتر و روش AOCS Cc 10a-25 استفاده شد (AOCS, 1993).

ضریب شکست

ضریب شکست روغن با دستگاه رفراکتومتر و در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و مطابق روش AOCS Cc 7-25 (AOCS, 1993) تعیین شد.

اندازه‌گیری اسیدیته

برای اندازه‌گیری اسیدیته از روش AOCS Cd 3–63 (AOCS, 1993) استفاده شد.

[1] Folin Ciocalteu
[2] Rancimat
[3] Lovibond

آزمون پایداری اکسایشی

میزان پایداری اکسایشی روغن‌ها به‌وسیلهٔ دستگاه رنسیمت برای ۲/۵ گرم نمونه و مطابق روش (AOCS, 1993)، در دمای ۱۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد و با سرعت جریان هوا ۲۵ لیتر بر ساعت اندازه‌گیری گردید.

ترکیبات فنلی کل

برای اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنلی کل از روش Bail و همکاران (۲۰۰۸) استفاده گردید. در این روش از معرف فولین سیو کالچو[1] استفاده شد.

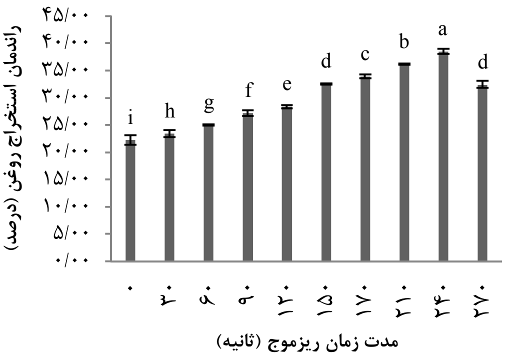
تجزیه‌وتحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی ساده با ۳ تکرار انجام گردید. از نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹.۳.۱ برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات و از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد برای مقایسهٔ میانگین داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

راندمان استخراج روغن

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان داد که زمان فرایند ریزموج بر راندمان استخراج روغن اثر معنی‌دار داشت (P<۰/۰۱). مقایسهٔ میانگین‌ها به روش آزمون دانکن بیانگر این بود که با افزایش زمان فرایند ریزموج تا ۲۴۰ ثانیه، راندمان استخراج روغن به‌علت تبخیر بیشتر آب از ساختار مواد گیاهی و افزایش فشار در محیط داخلی دانه‌ها درنتیجهٔ تجزیه و گسیختگی غشاء سلولی (Aguilera & Stanley, 1999)، افزایش و با افزایش بیشتر زمان فرایند به‌علت تخریب هرچه بیشتر بافت داخلی و بسته‌شدن روزنه‌های خروج روغن منجربه‌کاهش راندمان استخراج روغن شد (شکل ۱). Momeny و همکاران (۲۰۱۲)، اثر ریزموج‌ها را بر دانه‌های انبه به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از استخراج روغن توسط حلال مورد بررسی قرار دادند. آنها در این مطالعه از زمان‌های مختلف فرایند (۷۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۸۰ ثانیه) و توان‌های مختلف (۳۰۰ و ۴۰۰ وات) استفاده کردند. نتایج نشان داد که کارایی فرایند استخراج در حدود ۸/۹ درصد نسبت به روش مرسوم استخراج افزایش یافت.

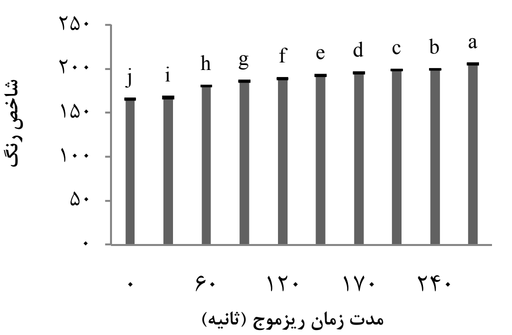


شکل ۱- تأثیر زمان فرایند ریزموج بر میزان راندمان استخراج روغن از دانه‌های کُلزا

داده‌ها عبارت است از میانگین ۳ تکرار SD± و اعداد دارای حروف متفاوت روی هر ستون نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

شاخص رنگ

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق پیرامون شاخص رنگ روغن‌های استخراج‌شده از دانه‌های کُلزا نشان داد که با افزایش زمان فرایند ریزموج به‌عنوان پیش‌تیمار روغن‌کشی شاخص رنگ روغن افزایش معنی‌داری (P<۰/۰۱) یافت (شکل ۲). در بین روغن‌ها بیشترین میزان شاخص رنگ (۲۰۵/۳۳ درصد) متعلق به روغن حاصل از دانه‌ای بود که برای ۲۷۰ ثانیه در معرض فرایند ریزموج قرار داشت.



شکل ۲ - تأثیر زمان فرایند ریزموج بر شاخص رنگ روغن‌ها

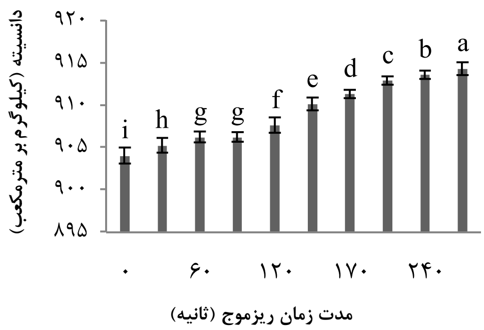
داده‌ها عبارت است از میانگین ۳ تکرار SD± و اعداد دارای حروف متفاوت روی هر ستون نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

---
[1] Folin–Ciocalteu

دراین‌راستا Li و همکاران (۲۰۰۴) اثر دماهای مختلف برشته‌کردن دانه‌های گلرنگ را بر تغییرات رنگ روغن آن مورد بررسی قرار دادند. آنها اظهار داشتند که تشکیل رنگ در روغن، تحت تأثیر دماهای برشته‌کردن بود به‌طوری‌که با افزایش دما، رنگ روغن حاصله نیز از زردروشن به قهوه‌ای‌تیره تغییر کرد. Anjum و همکاران (۲۰۰۶) نیز تغییرات رنگ روغن‌آفتاب‌گردان را طی تیماردهی دانه با ریزموج، از زردروشن تا قهوه‌ای گزارش نمودند. آنها اظهار داشتند که این تغییرات رنگی می‌تواند با توسعهٔ مواد قهوه‌ای در روغن همراه با افزایش زمان برشته‌کردن همراه باشد. Yoshida و Kojimoto (۱۹۹۴) نیز افزایش مشخص رنگ روغن جوانهٔ برنج و کنجد را هم‌زمان با افزایش دمای برشته‌کردن گزارش نمودند. همچنین Hassanein و همکاران (۲۰۰۳) نیز تشکیل مواد قهوه‌ای را نتیجه‌ای از تخریب فسفولیپیدها در طول حرارت‌دهی با ریزموج‌ها گزارش کردند.

میزان دانسیته

تعیین آن دسته از ویژگی‌های محصول که منجربه کسب اطلاعاتی از خصوصیات آن شود، سبب افزایش کیفیت فراوردهٔ نهایی خواهد شد که خود تأثیر عمده‌ای بر کاهش ضایعات و افزایش ارزش افزودهٔ محصول خواهد داشت. دراین‌زمینه، استفاده از ویژگی‌های فیزیکی جهت تشخیص کیفیت و طبقه‌بندی آن می‌تواند بسیار مفید باشد (Hassanein *et al*., 2003). در شکل (۳) تأثیر زمان فرایند ریزموج بر دانسیتهٔ روغن‌های استخراج‌شده نمایش داده شده است. تجزیهٔ واریانس داده‌های به‌دست‌آمده نشان داد که زمان فرایند ریزموج بر دانسیتهٔ روغن‌های مورد آزمایش تأثیر چشمگیری داشت ($P<۰/۰۱$). همان‌طورکه مشخص است افزایش زمان فرایند ریزموج منجربه‌افزایش دانسیتهٔ روغن‌ها شد، به‌گونه‌ای که نمونهٔ شاهد (بدون اعمال تیمار) کمترین مقدار دانسیته را به خود اختصاص داده بود. بدیهی است که هرچه دما در طول فرایند استخراج روغن بالاتر باشد، میزان مواد ریز موجود در روغن بیشتر افزایش یافته و درنتیجه دانسیتهٔ روغن‌ها نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۳ - تأثیر زمان فرایند ریزموج بر دانسیتهٔ روغن‌ها
داده‌ها عبارت است از میانگین ۳ تکرار SD ± و اعداد دارای حروف متفاوت روی هر ستون نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

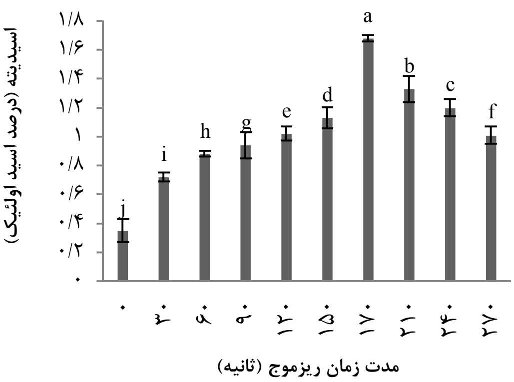
ضریب شکست

گزارش شده است که ضریب شکست اغلب به‌عنوان ملاکی از خلوص روغن استفاده می‌گردد. این پارامتر با افزایش طول زنجیر (گرچه رابطهٔ خطی نیست) و درجهٔ غیراشباعیت افزایش می‌یابد. روغن‌ها و چربی‌های مختلف ضریب شکست خاص خود را دارند ازاین‌رو، این ویژگی، برای تشخیص هویت و تعیین خلوص روغن‌ها و چربی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب شکست در کنترل پیشرفت واکنش‌ها نظیر هیدروژن و ایزومریزه‌شدن کاتالیزوری روغن‌ها مفید است. همچنین برای تشخیص اکسایش روغن نیز از ضریب شکست استفاده می‌شود درجه‌حرارت و اشباعیت از عوامل مؤثر بر ضریب شکست هستند (بخش‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۶). تجزیهٔ واریانس داده‌های حاصل از ضریب شکست روغن‌ها نشان داد که زمان فرایند ریزموج بر ضریب شکست روغن‌ها تأثیر معنی‌دار نداشت ($P>۰/۰۵$). مشخص شد که افزایش زمان ریزموج هیچ‌گونه تأثیری بر ضریب شکست روغن‌ها نداشت. یافته‌های حاصل از این تحقیق با نتایج گزارش‌شده توسط دیگر محققین مبنی بر عدم تأثیر فرایند ریزموج بر ضریب شکست روغن‌ها کاملاً مطابقت داشت (Bakhshabadi *et al*., 2017).

اسیدیتهٔ روغن‌ها

شکل (۴) نشان‌دهندهٔ تأثیر زمان فرایند ریزموج بر میزان اسیدیتهٔ روغن‌ها می‌باشد. همان‌طورکه

نشان‌داده‌شده است با افزایش زمان فرایند ریزموج تا ۱۷۰ ثانیه اسیدیتهٔ روغن‌ها افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر زمان فرایند از مقدار اسیدیته کاسته شد. این افزایش میزان اسیدیته با افزایش درجه‌حرارت (در اثر استفاده از فرایند ریزموج)، به اثر تجزیهٔ شیمیایی تری‌گلیسریدها و بالارفتن میزان اسیدهای چرب آزاد مربوط می‌شود. آنزیم‌های لیپولیتیک[1] درست در زیر پوستهٔ نازک دانه واقع شده‌اند و در سلول‌های صدمه‌ندیده قادر نخواهند بود به چربی‌ها حمله کنند اما ازآنجایی‌که دماهای بالا، باعث ایجاد تغییرات فیزیکی در سلول می‌شود این آنزیم‌ها فعالیت خود را آغاز می‌نمایند (Ghavami *et al*., 2003; Grosch *et al*., 1983). افزایش اسیدیته، بدون شک ناشی از شکستن اتصالات استری مولکول‌های تری‌گلیسریدی ناشی از حرارت‌دهی است (Bruhn, 1995). علت کاهش اسیدیته با افزایش هرچه بیشتر زمان فرایند را نیز می‌توان به غیرفعال‌سازی بیشتر آنزیم لیپاز درنتیجهٔ حرارت‌دهی نسبت داد.



شکل ۴ - تأثیر زمان فرایند ریزموج بر اسیدیتهٔ روغن‌ها
داده‌ها عبارت است از میانگین ۳ تکرار ± SD و اعداد دارای حروف متفاوت روی هر ستون نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

پایداری اکسایشی

پایداری اکسایشی عبارت است از مدت زمان لازم برای رسیدن به نقطه‌ای که در آن یکی از کمیت‌های اکسایشی مانند عدد پراکسید یا عدد کربونیل[2] پس از طی‌نمودن روند افزایشی خود به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد و باعث تولید طعم و بوی نامطلوب در روغن می‌شود. اکسایش باعث ایجاد فساد می‌شود که بوی نامطلوب و کاهش کیفیت غذا را به‌دنبال دارد. روش‌های متعددی برای ارزیابی مواد حاصل از فرایندهای حرارتی که دارای آثار زیادی بر خواص شیمیایی، فیزیکی و تغذیه‌ای روغن هستند، وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آنها شاخص پایداری اکسایشی است (White, 1991). ازطرفی اندازه‌گیری شاخص پایداری اکسایشی طی فرایندهای حرارتی روغن‌ها به‌تنهایی برای ارزیابی کیفیت روغن‌ها کافی نیست اما اطلاعاتی درخصوص وضعیت اولیهٔ نمونهٔ روغن دراختیار می‌گذارد (Matthaus, 2006). تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان داد که زمان فرایند ریزموج بر میزان پایداری اکسایشی تأثیر کاملاً معنی‌دار داشت (P<۰/۰۱). همان‌طورکه در شکل (۵) آورده شده است با افزایش زمان فرایند ریزموج تا ۱۵۰ ثانیه پایداری اکسایشی افزایش یافت که این مسأله احتمالاً با بالاتربودن ترکیبات توکوفرولی در نمونه‌های روغن استخراج‌شده در ارتباط است. Lee و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که اعمال تیمار ریزموج بر گلرنگ، افزایش پایداری روغن حاصله را به همراه داشت. همچنین آنها بیان کردند که پایداری بالاتر روغن به‌دست‌آمده از نمونهٔ تیمارشده در ریزموج ممکن است با تشکیل محصولات واکنش قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی، طی فرایند برشته‌کردن در ارتباط باشد. مطالعه‌های صورت‌گرفته روی محصولات حاصل از واکنش میلارد نشان داد که این ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بسیار قوی می‌باشند. همان‌طورکه مشخص است، بیشینهٔ پایداری اکسایشی (۵/۲۶ ساعت) زمانی به‌دست آمد که زمان فرایند ریزموج به‌عنوان پیش‌تیمار ۱۵۰ ثانیه بود. با افزایش زمان فرایند ریزموج از ۱۵۰ ثانیه تا ۲۷۰ ثانیه کاهش پایداری اکسایشی روغن‌ها اتفاق افتاد. علت کاهش پایداری اکسایشی را احتمالاً می‌توان به کاهش میزان ترکیبات ضداکسنده در اثر افزایش دمای ناشی از فرایند ریزموج نسبت داد.

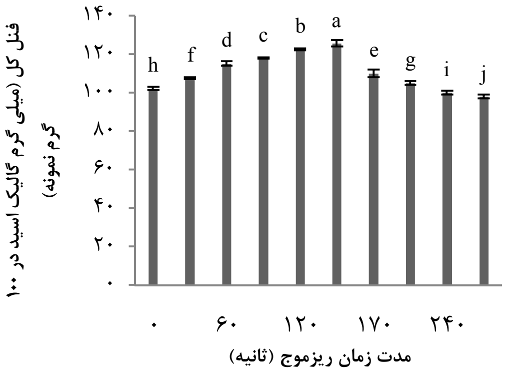
---
[1] Lipolytic enzymes
[2] peroxide or carbonyl value

شکل ۵ - تأثیر زمان فرایند ریزموج بر پایداری اکسایشی روغن‌ها

داده‌ها عبارت است از میانگین ۳ تکرار ± SD و اعداد دارای حروف متفاوت روی هر ستون نشان‌دهندۀ معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

فنل کل

نتایج تجزیۀ واریانس نشان داد که زمان فرایند ریزموج بر میزان فنل کل تأثیر معنی‌دار داشت (P<۰/۰۱). شکل (۶) نشان می‌دهد که با افزایش زمان فرایند ریزموج از صفر به ۱۵۰ ثانیه به میزان ۲۲/۹۷ درصد ترکیبات فنلی افزایش یافت. افزایش زمان بیشتر از ۱۵۰ ثانیه منجربه‌کاهش میزان ترکیبات فنلی شد. علت این افزایش و یا کاهش را می‌توان به آزادسازی و یا تخریب بیشتر این ترکیبات نسبت داد. عدم پذیرش افزودنی‌ها و نگهدارنده‌های شیمیایی ازسوی مصرف‌کنندگان به‌دلیل سرطان‌زایی و سمیت احتمالی، منجربه پژوهش‌های گسترده درزمینۀ کشف ترکیبات فعال طبیعی با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی شده است. ترکیبات طبیعی قادر به افزایش عمر نگهداری مواد غذایی ازطریق بازدارندگی رشد میکروارگانیسم‌های پاتوژن و فاسدکنندۀ مواد غذایی و نیز حفاظت مواد غذایی از آسیب‌های ناشی از استرس اکسیداتیو می‌باشند (Padmashree *et al.*, 2007). ترکیبات فنلی دستۀ بزرگی از متابولیت‌های ثانویۀ گیاهی می‌باشند که توانایی آنتی‌اکسیدانی آنها ناشی از حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختارشان است. توجه و کاربرد فنل‌های طبیعی در صنعت غذا روبه‌افزایش است. زیرا این ترکیبات تجزیۀ اکسیداتیو لیپیدها را به‌تأخیرانداخته و ازاین‌رو، کیفیت و ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی را بهبود می‌بخشند (Muanda *et al.*, 2011).



شکل ۶ - تأثیر زمان فرایند ریزموج بر محتوی فنل کل روغن‌ها

داده‌ها عبارت است از میانگین ۳ تکرار ± SD و اعداد دارای حروف متفاوت روی هر ستون نشان‌دهندۀ معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

افزایش زمان فرایند ریزموج به‌عنوان پیش‌تیمار استخراج روغن، منجربه‌افزایش دانسیته و شاخص رنگ روغن می‌شود. ولی راندمان استخراج روغن، میزان اسیدیته، پایداری اکسایشی و فنل کل ابتدا روند افزایشی و بعد از آن کاهشی از خود نشان می‌دهد. باتوجه‌به اطلاعات به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌توان بیان داشت که استفاده از فرایند ریزموج (برای ۱۵۰ ثانیه) به‌منظور تیماردهی دانه‌های کُلزا قبل از استخراج روغن با پرس مارپیچی در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی روغن حاصله مؤثر واقع گردید.

منابع

۱- آمارنامۀ کشاورزی. ۱۳۹۴. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، وزارت جهاد کشاورزی. جلد اول: محصولات زراعی، صفحۀ ۱۲۳.

۲- بخش‌آبادی، ح.، میرزایی، ح.ا.، قدس‌ولی، ع.ر.، جعفری، س.م.، ضیایی‌فر، ا.م. و بیگ بابایی، ع. ۱۳۹۶. بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از سیاه‌دانه با پیش‌تیمار میدان الکتریکی متناوب (PEF). نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۶ (۳): ۲۲۱-۲۳۴.

۳- شریعتی، ش. و قاضی شهنی‌زاده، پ. ۱۳۷۹. کُلزا. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی. ۴۰ صفحه.

۴- رستمی، م.، استکی، م.، قدس‌ولی، ع.ر.، بوژمهرانی، ا. و بخش‌آبادی، ح . ۱۳۹۴. تأثیر دمای پخت دانه بر برخی از خصوصیات کیفی روغن و کنجالهٔ حاصل از دانهٔ کُلزا. نشریهٔ نوآوری در علوم و فنّاوری غذایی. ۷(۱):۷۷-۸۴.

5- Aguilera, J., & Stanley, D. 1999. Microstructural principles of food processing and engineering Gaithersburg. P. 102-125. MD: Aspen Publishers Inc.

6- Anderson, D. 1996. A primer on oils processing technology. P. 10-17. In Y.H. Hui (ed) Bailey's industrial oil and fat products. JohnWiley and Sons, Inc., New York.

7- Anjum, F., Anwar, F., Jamil, A., & Iqbal, M. 2006. Microwave roasting effects on the physico-chemicalcomposition and oxidative stability of sunflower seed oil. Journal of the American Oil Chemists' Society,83(9):777-784.

8- AOCS. 1993. Official methods and recommended practices of the american oil chemists’ society. P. 762. AOCS Press, Champaign, IL.

9- Bail, S., Stuebiger, G., Krist, S., Unterweger, H., & Buchbauer, G. 2008. Characterisation of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. Journals. Food Chemistry, 108(3):1122-1132.

10- Bakhshabadi, H., Mirzaei, H.O., Ghodsvali, A., Jafari, S.M., Ziaiifar, A.M. & Farzaneh. V. 2017. The effect of microwave pretreatment on some physico-chemicalproperties and bioactivity of black cumin seeds’ oil. Industrial Crops and Products, 97:1-9.

11- Bruhn, C.M. 1995. Consumer attitudes and market response to irradiated food. Journal of Food Protection, 58(2):175-181.

12- Dua, S., &, Kaur, M. 1993. Functional properties of two pollutant grown green alga. Journal of Food Science and Technology, 30(1):25-28.

13- Ghavami, M., Gharachorloo, M., & Ezatpanah, H. 2003. Effect of frying on the oil quality properties used in the industry potato chips. Journal of Agricultural Science, 9(1):1-15.

14- Grosch, W., Laskawy, G., & Senser, F. 1983. Storage stability of roasted hazelnuts. CCB Review for Chocolate, Confectionery and Bakery. 8:21-23.

15- Hassanein, M.M., El-Shami, S.M., & Al-Mallah, M.H. 2003. Changes occurring in vegetable oils composition due to microwave heating. International Journal of Fats and Oils, 54(4):343-349.

16- Lee, Y.C., Oh, S.W., Chang, J., & Kim, I.H. 2004. Chemical composition and oxidative stability of safflower oil prepared from safflower seed roasted with different temperatures. Food Chemistry, 84(1):1-6.

17- Li, H., Pordesimo, L,& Weiss, J. 2004. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soy beans. Journal of Food Research International, 37(7):731-738.

18- Mandal, V., Mohan, Y., & Hemalatha, S. 2007. Microwave assisted extraction – an innovative & promising extraction tool for medicinal plant research. PharmacognosyReviews, 1(1):8-14.

19- Matthaus, B. 2006. Utilization of high – oleic rapeseed oil for deep-fat frying of French fries compared to other commonly used edible oils. European Journal of Lipid Science and Technology, 108(3):200-211.

20- Momeny, E., Rahmati, S., & Ramli, N. 2012. Effect of microwave pretreatment on the oil yield of mango seeds for the synthesis of a cocoa butter substitute. Journal of Food Protection Technol, 3(7):1-7.

21-Muanda, F.N., Soulimani, R., Diop, B., & Dicko, A. 2011. Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from stevia rebaudiana bertoni leaves. Food Science and Technology, 44(9):1865-1872.

22-Padmashree, A., Roopa, N., Semwal, A.D., Sharma, G.K., Agatian, G., & Bawa, A.S. 2007. Star-anise (illicium verum) and black caraway (carum nigrum) as natural antioxidants. Food Chemistry. 104(1):59-66.

23-Shahidi, F. 2005. Bailey's industrial oil and fat products. P. 402-403. Wiley- interscience publication.

24-White, P.J. 1991. Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. Food Technology. 45:75-80.

25-Yoshida, H., & Kojimoto. G. 1994. Microwave heating effects composition and oxidative stability of sesame (*sesamum indicum*). Journal of Food Science, 59(3):616-625.

The Effect of Microwave Pretreatment on the Oxidative Stability and Some Quantity and Quality of Extracted Oil from Rapeseeds

Masoumeh Moghimi[1], Adel Beig Babaei[2], Hamid Bakhshabadi[3], Morteza Mohamadi[4*], Shilan Rashidzadeh[5]

1- Assistant Professor, Department of Chemistry, Gonbad Kavoos Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoos, Iran
2- Assistant Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
3- Young Researchers and Elites Club, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
4- Young Researchers and Elites Club, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
* Corresponding author (mohamadi2003@yahoo.com)
5- Department of Food Science and Technology, Saee Institute of Higher Education, Gorgan, Iran

Abstract

Canola or rapeseeds oil, comparing to sunflower oil, corn oil and soybean oil, is more qualified because of existence of unsaturated fatty acids and lack of cholesterol in its ingredients. In this study, the effect of the microwave time (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 and 270 seconds) on the phenolic compounds, oxidative stability and physicochemical properties of rapeseed oil such as oil extraction yield, density, refractive index and acidity of the oil using a completely randomized design with three replications. The results showed that by increasing the microwave time, density and color index increased. By increasing the microwave time at first to increase the oil extraction yield, acidity, oxidative stability and total phenol were then reduced For example, by increasing the microwave time to 240 seconds, the oil extraction yield increased, but further increase in microwave time led oil extraction yield reduction. The analysis of variance results showed that the studied microwave time had no effect on the refractive index ($P>0.05$). According to the information obtained from this study, it can be concluded that the microwave time (for 150 seconds) for pretreatment of rapeseeds to extract oil via screw press was effective in improving the quantitative and qualitative characteristics of the oil achieved.

Keywords: Microwave Pretreatment, Oil Extraction Yield, Oxidative Stability, Rapeseed Oil

JRIFST

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۸۸-۷۵

مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

مدل‌سازی انتقال جرم در فرایند خشک‌کردن برش‌های سیب توسط پرتودهی مادون‌قرمز با روش حرارت‌دهی متناوب

حسن صباغی[۱*]، امان‌محمد ضیائی‌فر[۲]، مهدی کاشانی‌نژاد[۳]

۱- دانش آموختهٔ دکتری، مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
* نویسندهٔ مسئول (hassansabbaghi@gmail.com)
۲- دانشیار، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۱

واژه‌های کلیدی
انتقال جرم
حرارت‌دهی متناوب
خشک‌کردن
مادون‌قرمز
مدل سینتیکی

چکیده

پرتودهی مادون‌قرمز با حرارت‌دهی متناوب، روشی نوین است که طی آن دمای سطحی محصول جهت انجام هم‌زمان بلانچینگ و خشک‌کردن، ثابت نگه داشته می‌شود. مزیت کلی پرتودهی متناوب ذخیرهٔ انرژی و جلوگیری از تغییرات کیفی نامطلوب در محصول نهایی است. از محاسبه‌های انتقال جرم برای تخمین شرایط دمایی و زمان در این فرایند می‌توان استفاده کرد. در این پژوهش، رفتار خشک‌شدن برش‌های سیب (واریتهٔ زرد لبنانی) به شکل تیغه در ۳ اندازه با ضخامت ۵، ۹ و ۱۳ میلی‌متر و با طول و عرض ۲۰ میلی‌متر بررسی شد. عملیات حرارتی در یک خشک‌کن مادون‌قرمز مجهز به کنترل‌کنندهٔ دمای سطحی محصول و در ۳ دمای ۷۰، ۷۵ و ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد انجام شد. مدل‌های سینتیکی به‌صورت مدل‌های نیوتن، پیج، اصلاح‌شدهٔ پیج، هندرسون -پابیس و پارابولیک در نرم‌افزار متلب روی داده‌های تجربی نسبت رطوبتی بدون بُعد برازش گردید. مقایسهٔ مدل‌ها توسط ضریب همبستگی تصحیح‌شده ($Adj.R^2$) و ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE) انجام شد. محاسبهٔ ضریب نفوذ مؤثر رطوبت (D_{eff}) طی خشک‌شدن برش‌ها انجام گرفت و ارتباط آن با دمای فرایند نیز ازطریق رابطهٔ آرنیوس بررسی شد. نتایج نشان داد، مدل پیج و مدل پارابولیک برازش مطلوبی روی داده‌های آزمایشی نشان دادند ($Adj.R^2$ بیشتر و RMSE کمتر). ضریب نفوذ مؤثر با افزایش دمای سطحی و ضخامت محصول به‌طور معنی‌داری همواره بالاتر بود. این پارامتر در ضخامت‌های کمتر انرژی فعال‌سازی بالاتری داشت که این امر نشان‌دهندهٔ وابستگی بیشتر ضریب نفوذ مؤثر به دمای پرتودهی با کاهش ضخامت است.

مقدمه

در سال‌های اخیر، کاربرد حرارت‌دهی مادون‌قرمز برای خشک‌کردن مواد غذایی به‌دلیل پیشرفت‌های نوین در طراحی و ساخت تابش‌کننده‌ها[1] و بهره‌وری بالای آن (بین ۸۰ تا ۹۰ درصد) توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Jaturonglumlert & Kiatsiriroat, 2010). حرارت‌دهی مادون‌قرمز در فراوری مواد غذایی به‌طور عمده برای فرایندهایی مانند خشک‌کردن، بلانچینگ[2]، پاستوریزاسیون[3]، استریلیزاسیون[4]، برشته‌کردن، پخت و انجمادزدایی به‌کار می‌رود (Basman & Yalcin, 2011; Melito & Farkas,

[1] Radiator

[2] Blanching
[3] Pasteurization
[4] Sterilization

2013). یکی از فرایندهای نوین در صنعت غذا، عملیات هم‌زمان بلانچینگ خشک مادون‌قرمز و آب‌زدایی[1] (SIRDBD) میوه‌ها و سبزیجات است که موجب افزایش کیفیت محصول نهایی و کاهش آلودگی محیط می‌گردد (Zhu *et al.*, 2010). میوه‌ها و سبزیجات خشک‌شده به‌صورت اسنک[2] و یا به‌عنوان محصولات آمادهٔ مصرف[3] مورد توجه قرار گرفته‌اند (Velickova *et al.*, 2014). میوه‌ها در رژیم غذایی انسان باتوجه‌به رنگ، عطر، طعم و ویتامین‌ها بسیار اهمیت دارند (Timoumi *et al.*, 2007). در این میان، سیب نقش مهمی در سبد میوهٔ مصرف‌کنندگان دارد. سیب خشک‌شده علاوه‌بر بهبود ماندگاری، در تولید محصولاتی مانند غذای کودک نیز به‌کار می‌رود (Doymaz, 2010).

پرتودهی مادون‌قرمز ازآنجاکه انرژی به شکل موج الکترومغناطیس[4] است، بنابراین سرعت بیشتری در انتقال حرارت نسبت به مکانیسم‌های جابجایی[5] و هدایت[6] دارد (Yang *et al.*, 2010). در حرارت‌دهی مادون‌قرمز، درجه‌حرارت محصول محدود به دمای حباب مرطوب[7] در هوای اطراف آن نیست و محصول سریعاً تا دماهای بالا بدون نیاز به محیط مادی انتقال حرارت گرم خواهد شد (Pan *et al.*, 2008). به‌طورکلی، خشک‌کردن مادون‌قرمز دارای مزیت‌های فراوانی نسبت به روش‌های حرارت‌دهی معمول در شرایط مشابه است. این موارد شامل کاهش زمان خشک‌کردن به‌دلیل نرخ حرارت‌دهی زیاد، کارایی حرارتی و انرژی بالا، کیفیت بالای محصول نهایی، یکنواختی حرارت‌دهی و دما در محصول طی خشک‌کردن، نفوذ مستقیم حرارت به داخل محصول و کاهش ضرورت جریان هوا در سراسر محصول است (Toğrul, 2005; Basman & Yalcin, 2011). این روش خشک‌کردن می‌تواند منجربه صرفه‌جویی ۳۸ درصدی مصرف انرژی در حین خشک‌کردن گردد.

[1] Simultaneous infrared dry-blanching and dehydration
[2] Snack
[3] Ready to eat
[4] Electromagnetic wave
[5] Convection
[6] Conduction
[7] Wet bulb temperature

حرارت‌دهی مادون‌قرمز نگرانی‌های ایمنی دربارهٔ خشک‌کردن مایکروویو را ندارد و هزینهٔ بالای تجهیزات در مقایسه با حرارت‌دهی فرکانس رادیویی[8] در آن مطرح نیست. به‌علاوه، این روش می‌تواند به‌طور معنی‌داری موجب کاهش فضای لازم برای تجهیزات و افزایش حجم تولید گردد (Pan *et al.*, 2005).

حرارت‌دهی مادون‌قرمز به دو روش مداوم[9] و متناوب[10] امکان‌پذیر است. در حین حرارت‌دهی مداوم، شدت تابش ثابت نگه داشته می‌شود و جهت سرعت بالای افزایش دما و خروج سریع رطوبت این روش مناسب است، زیرا سطح محصول انرژی بالایی را به‌صورت ثابت دریافت می‌نماید. در این روش، شدت بالای تابش می‌تواند منجربه تغییرات رنگ نامطلوب در سطح محصول گردد. استفاده از حرارت‌دهی متناوب یک راه‌حل برای جلوگیری از تغییرات کیفی نامطلوب طی پرتودهی است. دراین‌روش دمای سطحی محصول ثابت نگه داشته می‌شود. بنابراین مزیت حالت متناوب، ذخیرهٔ انرژی و بهبود کیفیت محصول نهایی است (Zhu & Pan, 2009).

خشک‌کردن برش‌های میوه فرایندی است که شامل انتقال جرم و حرارت هم‌زمان می‌باشد. نرخ انتقال حرارت تابعی از ضریب انتقال حرارت خارجی[11] هدایت حرارتی مادهٔ غذایی است. درحالی‌که نرخ انتقال جرم به‌طورکلی وابسته به ضریب انتقال جرم و نفوذ جرم[12] آب در مادهٔ غذایی می‌باشد. طی خشک‌کردن با استفاده از تابش مادون‌قرمز، انرژی توسط لایه‌های سطحی جذب‌شده و به گرما تبدیل می‌گردد. شار[13] حرارتی از سطح به هوای اطراف ازطریق جابجایی منتقل می‌گردد. ازطرف‌دیگر، شار جرمی در تمام زمان‌ها از مرکز محصول به سمت سطح منتقل می‌شود (Jaturonglumlert & Kiatsiriroat, 2010). پارامترهای کلیدی فراوری مانند شدت تابش، دمای سطح محصول، ضخامت محصول و زمان فرایند در تعیین کارایی این فرایند اهمیت دارند. این پارامترها شاخص‌های فرایند مانند نرخ

[8] Radio frequency
[9] Continuous
[10] Intermittent
[11] External
[12] Mass diffusivity
[13] Flux

حرارت‌دهی، سینتیک خشک‌کردن، متوسط نرخ خشک‌شدن[1] (ADR) و کیفیت محصول نهایی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (Pan & Atungulu, 2010). مواد غذایی ماتریکس پیچیده‌ای از ماکرومولکول‌های بیوشیمیایی مختلف، پلیمرهای زیستی، نمک‌های غیرآلی[2] و آب هستند (Jun *et al.*, 2010). آب جذب انرژی بسیار قوی در طول موج‌های ۳، ۶، ۱۲ و ۱۵ میکرومتر دارد. پیوندهای اکسیژن ـ هیدروژن در آب انرژی مادون‌قرمز را جذب‌کرده و در اثر تابش شروع به چرخش با بسامد یکنواخت می‌نمایند. این تغییر شکل انرژی از شکل تابشی به چرخشی منجربه تبخیر آب و انتقال جرم خواهد شد (Nindo & Mwithiga, 2010).

اگرچه به نظر می‌رسد که خشک‌کردن مادون‌قرمز فرایندی ساده باشد، اما انتقال جرم دراین‌روش فراوری بسیار پیچیده است و نیازمند مدل‌سازی با هدف کنترل فرایند است (Pan & Atungulu, 2010). کنترل کافی فرایند خشک‌کردن ممکن است به‌عنوان عاملی جهت بهبود انتقال جرم با هدف دستیابی به سبزیجات آب‌زدایی‌شدهٔ غنی ازنظر تغذیه‌ای به‌کار رود (González-Fe´sler *et al.*, 2008). مهاجرت رطوبت محصولات غذایی طی فراوری می‌تواند به مکانیسم‌های مختلفی ازقبیل انتشار مولکولی[3]، موئینگی[4] ، انتقال حجمی، تجمع[5] و انتشار سطحی نسبت داده شود (Zheleva & Kamburova, 2009). به‌منظور تسهیل مطالعهٔ انتقال جرم، کاربرد قانون فیک[6] در انتشار آب در مواد غذایی به‌صورت ضریب نفوذ مؤثر تعریف می‌شود که یک شاخص انتقال جرم کلی است و شامل تمامی مکانیسم‌های دخیل در انتقال آب می‌باشد (Saravacos & Maroulis, 2001). علاوه‌بر این، مدل‌های سینتیکی ریاضی ابزارهایی مفید و ساده در طراحی فرایند و تحلیل رفتار انتقال جرم می‌باشند. بنابراین از محاسبه‌های انتقال جرم برای تخمین شرایط واقعی با وجود فرضیه‌هایی مانند نادیده‌گرفتن چروکیدگی[7] و توزیع رطوبت یکنواخت، می‌توان استفاده کرد (Tog˘rul, 2005).

Tog˘rul (۲۰۰۵) تأثیر دمای خشک‌کردن مادون‌قرمز را روی نرخ خشک‌شدن برش‌های سیب با یک ضخامت را بررسی نمود. نتایج او نشان داد که دما تأثیر معنی‌داری روی نرخ آبزدایی دارد. تغییرات نرخ خشک‌شدن با زمان و محتوی رطوبت به‌ترتیب توسط مدل خطی و توانی به بهترین شکل توصیف گردید.

Zhu و Pan (۲۰۰۹) خصوصیات کیفی برش‌های سیب را تحت‌تأثیر آبزدایی مادون‌قرمز در حالت مداوم مطالعه کردند. آنها بیان کردند که مدل سادهٔ خشک‌کردن پیج[8] رفتار خشک‌کردن را طی این عملیات به‌خوبی توصیف می‌کند.

Doymaz (۲۰۱۰) رفتار خشک‌کردن سیب را در یک خشک‌کن آزمایشگاهی هوای داغ (شرکت اِی‌پی‌وی-پاسیلاک[9]، ساخت انگلستان) مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق در مدل پارابولیک[10] (سهمی‌شکل) تغییرات رطوبت محصول طی خشک‌کردن را به‌خوبی نشان داد.

به‌طور معمول، کاربرد هر تکنولوژی جدیدی به‌عنوان یک چالش مورد توجه پژوهشگران است. تاکنون مطالعهٔ همزمان پارامترهای انتقال جرم و مدل‌های سینتیکی برای توصیف رفتار خشک‌شدن محصول در ضخامت‌های مختلف طی پرتودهی متناوب مادون‌قرمز کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در واقع شرایط فرایند و شرایط محصول (سیب)، به‌طور مجزا، از متغیرهای مهم در مطالعهٔ انتقال جرم است. در این پژوهش، برخی مدل‌های سینتیکی و ضریب انتقال جرم طی خشک‌شدن مادون‌قرمز برش‌های میوهٔ سیب بررسی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی برش‌های سیب

سیب واریتهٔ زرد لبنانی[11] از بازار محلی خریداری گردید و مطابق Acevedo و همکاران (۲۰۰۸) در دمای ۱±۰ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد نگهداری شد. قبل از هر فرایند حرارتی،

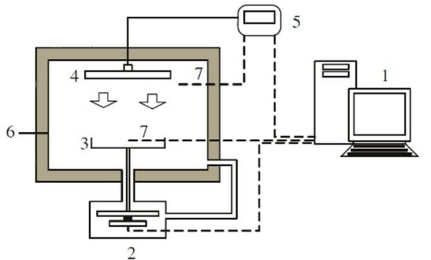
[1] Average drying rate
[2] Inorganic
[3] Molecular diffusion
[4] Capillarity
[5] Effusion
[6] Fick’s law
[7] Shrinkage

[8] Page
[9] APV-Pasilac
[10] Parabolic
[11] Golden delicious

نمونه‌های سیب از سردخانه خارج شدند و پس‌ازرسیدن به دمای محیط مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه‌ها به‌صورت دستی پوست‌گیری شد و سپس در ۳ اندازه به‌صورت برش‌هایی به شکل تیغه با ضخامت ۵، ۹ و ۱۳ میلی‌متر و با طول و عرض ۲۰ میلی‌متر آماده گردید. برش‌های سیب بلافاصله وارد عملیات هم‌زمان بلانچینگ و خشک‌کردن مادون‌قرمز شدند. میانگین محتوی رطوبت سیب توسط آون (مدل FD53، Binder، ساخت آلمان) با دمای ۱۰۳ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (AOAC, 2000). محتوی رطوبت سیب حدود ۱±۸۴ درصد بر مبنای وزن مرطوب برآورد شد.

سیستم خشک‌کن مادون‌قرمز

شکل (۱) اجزای سیستم خشک‌کن اتوماتیک مادون‌قرمز مورد استفاده را مطابق سیستم Liu و همکاران (۲۰۱۴) نشان می‌دهد. این خشک‌کن شامل یک محفظهٔ مکعب‌مستطیل می‌باشد. منبع تابش مادون‌قرمز از نوع سرامیکی با توان ۱۰۰۰ وات در داخل محفظه قرار دارد. دمای سطحی نمونه در محفظهٔ خشک‌کن به‌طور مداوم با استفاده از ترموکوپل[1] نوع K و با کنترل‌کنندهٔ منطقی برنامه‌پذیر[2] (PLC) کنترل می‌گردد. تغییرات وزن نمونه طی فرایند نیز به‌طور مداوم با استفاده از ترازوی حساس (مدل HCB 3001، ADAM، ساخت انگلستان) با دقت ۰/۱ گرم، ثبت می‌شود.



شکل ۱ - سیستم خشک‌کن مادون‌قرمز و لوازم آن، (۱) کامپیوتر، (۲) ترازو، (۳) سینی نمونه، (۴) تابش‌کنندهٔ سرامیکی مادون‌قرمز، (۵) کنترل‌کنندهٔ منطقی برنامه‌پذیر (PLC)، (۶) محفظهٔ خشک‌کن، (۷) ترموکوپل‌ها

[1] Thermocouple
[2] Programmable Logic Controller

عملیات حرارت‌دهی متناوب

جهت عملیات حرارتی‌دهی متناوب مطابق آنچه Zhu و همکاران (۲۰۱۰) انجام دادند، ۳ دمای سطحی ثابت برابر با ۷۰، ۷۵ و ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد انتخاب شد. زمان فرایند تا رسیدن محصول به وزن ثابت ادامه یافت. عملیات با ۳ تکرار انجام گرفت و میانگین داده‌های حاصل از تکرارهای مختلف در نظر گرفته شد.

محتوی رطوبت

باتوجه‌به داده‌های به‌دست‌آمده از تغییرات وزنی، رطوبت محصول در هر لحظه برحسب کیلوگرم آب بر کیلوگرم مادهٔ خشک برآورد شد. مطابق Tog˘rul (۲۰۰۵)، نسبت رطوبتی[3] (MR) بدون بُعد طی فرایند براساس رابطهٔ (۱) از تقسیم رطوبت در زمان t (M_t) بر رطوبت اولیه (M_0) محاسبه گردید.

رابطهٔ (۱)

$$MR = \frac{M_t}{M_0}$$

مدل‌سازی سینتیک خشک‌شدن

روابط سینتیکی مطابق با Doymaz (۲۰۱۴b) برای مطالعهٔ الگوی تغییرات نسبت رطوبت بدون بُعد به‌صورت مدل‌های نیوتن[4] (رابطهٔ۲) ، پیج[5] (رابطهٔ ۳)، اصلاح‌شدهٔ پیج[6] (رابطهٔ ۴)، هندرسون-پابیس[7] (رابطهٔ ۵) و پارابولیک[8] (رابطهٔ ۶) بر مبنای سادگی انتخاب شدند. مدل‌ها در جعبه‌ابزار برازش منحنی[9] در نرم‌افزار متلب[10] نسخهٔ ۲۰۰۹ با تکنیک تکرار با سطح اطمینان ۹۵ درصد برازش شدند و پارامترهای مربوط به این معادله‌ها محاسبه شد. در این مدل‌ها k ثابت سینتیکی برحسب (s^{-1})، t زمان برحسب s و علائم n، a، b و c پارامترهای مدل می‌باشند.

رابطهٔ (۲)

$$MR = \exp(-kt)$$

[3] Moisture ratio
[4] Newton
[5] Page
[6] Modified page
[7] Henderson-Pabis
[8] Parabolic
[9] Curve fitting toolbox
[10] MATLAB

رابطهٔ (۳)

$$MR = \exp(-kt^n)$$

رابطهٔ (۴)

$$MR = \exp(-(kt)^n)$$

رابطهٔ (۵)

$$MR = a.\exp(-kt)$$

رابطهٔ (۶)

$$MR = a + bt + ct^2$$

ضریب همبستگی تصحیح‌شده[1] ($Adj.R^2$) مطابق رابطهٔ (۷) و ریشهٔ میانگین مربعات خطا[2] (RMSE) مطابق رابطهٔ (۸) جهت ارزیابی و مقایسهٔ مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در این رابطه‌ها، o و p به‌ترتیب مقدار مشاهده‌شده و مقدار پیش‌بینی‌شده است. n تعداد مشاهده و p تعداد پارامترهای مدل می‌باشد.

رابطهٔ (۷)

$$Adj.R^2 = R^2 - \frac{p-1}{n-p}(1-R^2)$$

رابطهٔ (۸)

$$RMSE = \sqrt{\frac{(o-p)^2}{n-p}}$$

تخمین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

براساس قانون دوم فیک، برای خشک‌کردن محصولات غذایی در دورهٔ نرخ کاهشی تغییرات نفوذ رطوبت طی زمان به‌صورت رابطهٔ (۹) در نظر گرفته می‌شود (Doymaz, 2010). برای شکل هندسی تیغه‌ای، حل این رابطه با فرض توزیع یکنواخت رطوبت، درنظرنگرفتن مقاومت خارجی، ضریب نفوذ ثابت و نادیده‌گرفتن اثرات چروکیدگی به‌صورت رابطهٔ (۱۰) خواهد بود.

رابطهٔ (۹)

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff}\nabla^2 M$$

رابطهٔ (۱۰)

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\times$$

$$\exp\left(-\frac{(2n+1)^2\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right)$$

[1] Adjusted R-squared
[2] Root mean squared error

در رابطهٔ (۹) و (۱۰)، D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر رطوبت ($m^2.s^{-1}$)، t زمان (s)، L نصف ضخامت نمونه (m) و n عدد صحیح مثبت است. برای زمان‌های طولانی خشک‌کردن، حد تابع بیان‌شده در رابطهٔ (۱۰) به‌صورت لگاریتمی معادل رابطهٔ (۱۱) خواهد بود. در واقع، با محاسبهٔ شیب بخش خطی تغییرات لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت (Ln MR) در برابر زمان (t)، شیب خط محاسبه‌شده معادل ($-\pi^2 D_{eff}/4L^2$) خواهد بود و ضریب نفوذ قابل محاسبه است.

رابطهٔ (۱۱)

$$LnMR = Ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(-\frac{\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right)$$

ارتباط نفوذ مؤثر رطوبت با دمای خشک‌کردن

ارتباط ضریب نفوذ مؤثر (D_{eff}) با دمای فرایند در ضخامت‌های مختلف محصول با استفاده از شکل خطی معادلهٔ آرنیوس[3] مطابق رابطهٔ (۱۲) بررسی شد. D نشان‌دهندهٔ پارامتر مورد مطالعه یعنی ضریب نفوذ می‌باشد. E_a نشان‌دهندهٔ انرژی فعال‌سازی برحسب $J.mol^{-1}$ و R ثابت جهانی گازها برابر با $J.mol^{-1}.K^{-1}$ ۸/۳۰۹ می‌باشد. T دمای مطلق برحسب کلوین است.

رابطهٔ (۱۲)

$$LnD_{eff} = LnD_0 - \frac{E_a}{RT}$$

آنالیز آماری

تجزیه‌وتحلیل آماری تأثیر ضخامت و دما روی پارامتر ضریب نفوذ مؤثر در نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۹ بررسی شد. بدین‌منظور از طرح کاملاً تصادفی[4] (CRD) در قالب فاکتوریل با ۲ فاکتور ضخامت (در ۳ سطح) و دما (در ۳ سطح) استفاده گردید. مقایسهٔ میانگین به‌صورت آزمون دانکن[5] با سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$) انجام گرفت.

نتایج و بحث

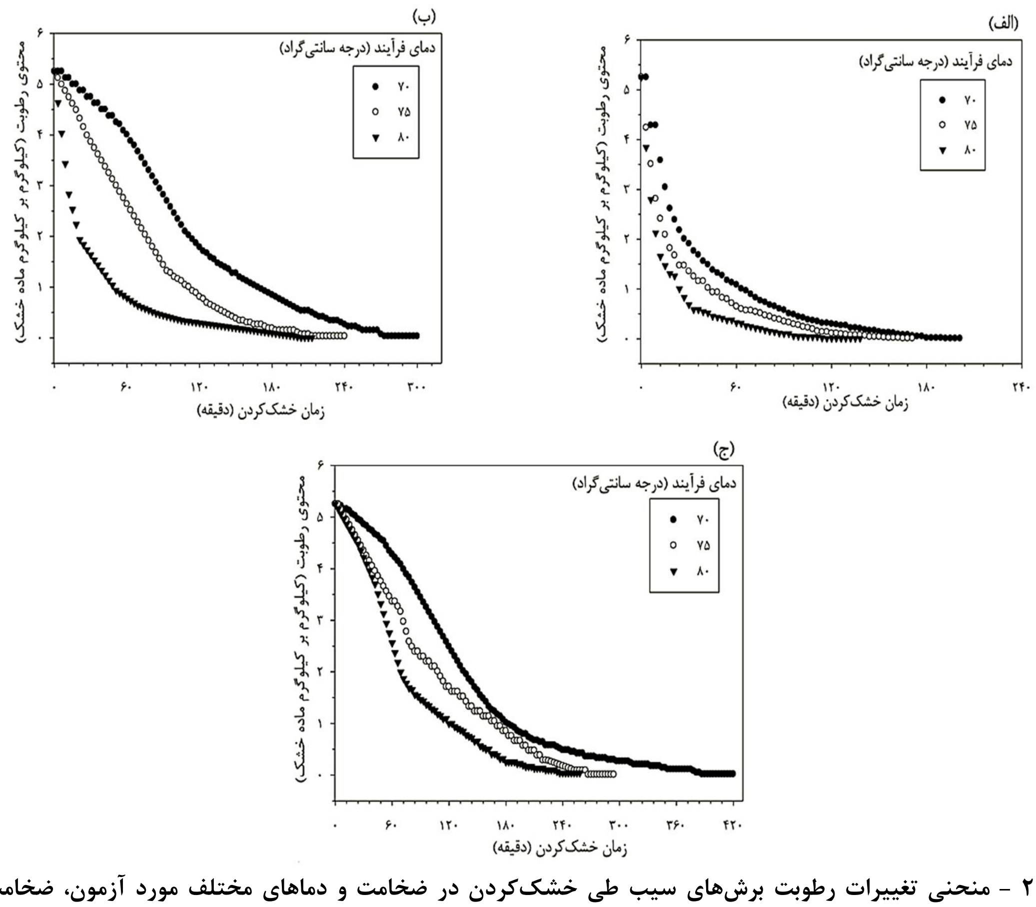
تغییرات رطوبت طی پرتودهی مادون‌قرمز

شکل (۲) منحنی تغییرات رطوبت برش‌های سیب را

[3] Arrhenius equation
[4] Completely randomized design
[5] Duncan test

در دماها و ضخامت‌های مورد آزمون نشان می‌دهد. برای ضخامت ۵ میلی‌متر (ضخامت کم) پروفایل تغییرات رطوبت در ۳ دمای مورد آزمون روند مشابهی داشت و در تمام ضخامت‌ها، نرخ کاهش رطوبت در دمای بالا سریع‌تر بود (شکل ۲-الف). با افزایش ضخامت محصول (ضخامت ۹ و ۱۳ میلی‌متر) شکل منحنی تغییرات رطوبت بخصوص برای دمای پایین‌تر (۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد) تغییر کرده و حالت تقریباً مانا یا کُند تغییرات محتوی رطوبت در ابتدای فرایند مشاهده می‌شود (شکل ۲-ب و ۲- ج). زمان موردنیاز برای دستیابی به وزن ثابت نمونه‌ها، با کاهش دما و افزایش ضخامت طولانی‌تر بود.

نتایج مشاهده‌شده با گزارش بسیاری از محققین سازگار است. Zhu و Pan (۲۰۱۰) بیان کردند که شدت بالای تابش و برش‌های نازک موجب افزایش شدیدتر دمای محصول شده و درنتیجه خروج رطوبت نسبت به شدت کم تابش یا برش‌های ضخیم سریع‌تر رخ می‌دهد. Tog˘rul (۲۰۰۵) نیز گزارش کرد که با کاهش میزان رطوبت طی فرایند، نرخ خشک‌کردن به‌طور مداوم تقلیل می‌یابد. Swasdisevi و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که با افزایش ضخامت محصول زمان خشک‌کردن افزایش پیدا می‌کند. Doymaz (۲۰۱۴a) بیان کرد که افزایش سریع دمای محصول موجب زیادشدن فشار بخار و درنتیجه خشک‌شدن سریع‌تر محصول طی حرارت‌دهی مادون‌قرمز خواهد شد. Liu و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که با افزایش دمای گرم‌کن مادون‌قرمز، دانسیتهٔ تابش و نرخ انتقال حرارت به‌خوبی افزایش‌یافته و این امر موجب افزایش نرخ کاهش آب می‌گردد. Wang و همکاران (۲۰۰۷) منحنی تغییرات نسبت رطوبتی را به‌طور مشابهی برای دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد طی خشک‌کردن لایهٔ نازک گزارش کردند. آنها بیان کردند در محدودهٔ دمایی ۷۵ تا ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد با افزایش دما، نرخ خشک‌شدن افزایش‌یافته و زمان فرایند کاهش می‌یابد.



شکل ۲ - منحنی تغییرات رطوبت برش‌های سیب طی خشک‌کردن در ضخامت و دماهای مختلف مورد آزمون، ضخامت ۵ میلی‌متر (الف)، ضخامت ۹ میلی‌متر (ب)، ضخامت ۱۳ میلی‌متر (ج)

مدل‌سازی سینتیک انتقال رطوبت

برازش مدل‌های سینتیکی روی داده‌های نسبت رطوبت بدون بُعد (MR) نشان داد که قدرت پیش‌بینی الگوی رفتار خشک‌شدن برش‌های سیب توسط مدل‌های مورد آزمون، در ضخامت‌های مختلف باتوجه‌به تغییر در نحوهٔ کاهش رطوبت محصول متفاوت است. پارامترهای مدل‌ها و مقایسهٔ مطلوبیت پیش‌بینی جدول‌های (۱ تا ۵) ارائه شده است. در این میان، مدل پیج (جدول ۲)، مدل پارابولیک (جدول ۵) و مدل هندرسون-پابیس (جدول۴) به‌ترتیب بالاترین ضریب همبستگی تصحیح‌شده ($Adj.R^2$) و کمترین ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE) را داشتند. این امر نشان‌دهندهٔ مطلوبیت توصیف رفتار خشک‌شدن محصول در دماها و ضخامت‌های مختلف توسط این مدل‌های سینتیکی است. کارایی مطلوب این مدل‌ها توسط محققین دیگری نیز در فراوری خشک‌کردن گزارش شده است (Zhu & Pan, 2009; Doymaz, 2010; Doymaz, 2014b). Madamba (۲۰۰۳) بیان کرد که مدل پیج، پیش‌بینی مطلوب‌تری در مقایسه با سایر مدل‌های یک یا چندپارامتری ارائه می‌نماید. سایر مدل‌های مورد آزمون به‌صورت مدل اصلاح‌شده پیج (جدول ۳) و مدل نیوتن (جدول ۱) با افزایش ضخامت و تغییر جزئی در الگوی خروج رطوبت (بروز حالت مانای ابتدایی در منحنی محتوی رطوبت) توانایی مطلوب را در توصیف رفتار خشک‌شدن از دست می‌دهند. علت این امر مطابق Vishwanathan و همکاران (۲۰۱۳) کاهش نرخ خروج رطوبت در زمان‌های ابتدایی فرایند (بخصوص با افزایش ضخامت یا کاهش دمای سطحی) می‌تواند باشد. Wang و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که مدل پیج ضریب همبستگی بالای ۰/۹۹ در توصیف داده‌های نسبت رطوبتی بدون بُعد دارد.

جدول ۱ - برازش مدل نیوتن روی داده‌های رطوبت بدون بُعد در دما و ضخامت مختلف برش سیب

ضخامت (میلی‌متر)	دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	پارامتر مدل k (عکس ثانیه)	$Adj.R^2$	RMSE
۵	۷۰	۰/۰۱۰	۰/۹۵	۰/۰۶۷
	۷۵	۰/۰۱۴	۰/۹۷	۰/۰۴۹
	۸۰	۰/۰۲۲	۰/۹۸	۰/۰۳۲
۹	۷۰	۰/۰۰۴۰	۰/۷۸	۰/۱۵۱
	۷۵	۰/۰۰۶	۰/۸۴	۰/۱۳۶
	۸۰	۰/۰۲۰	۰/۹۹	۰/۰۲۴
۱۳	۷۰	۰/۰۰۱	۰/۷۳	۰/۱۸۵
	۷۵	۰/۰۰۳	۰/۷۷	۰/۱۵۱
	۸۰	۰/۰۰۶	۰/۸۶	۰/۱۲۲

جدول ۲ - برازش مدل پیج روی داده‌های رطوبت بدون بُعد در دما و ضخامت مختلف برش سیب

ضخامت (میلی‌متر)	دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	پارامترهای مدل: k (عکس ثانیه)	پارامترهای مدل: n	$Adj.R^2$	RMSE
۵	۷۰	۰/۰۰۱۴۸	۱/۴۲۸	۰/۹۹	۰/۰۳۱
	۷۵	۰/۰۰۵۳۶۴	۱/۲۲۷	۰/۹۸	۰/۰۳۶
	۸۰	۰/۰۱۶۷۷	۱/۰۷۸	۰/۹۸	۰/۰۳۰
۹	۷۰	$۵/۶۸\times۱۰^{-۷}$	۲/۶۹۲	۰/۹۹	۰/۰۳۱
	۷۵	$۱/۰۱\times۱۰^{-۵}$	۲/۳۱۶	۰/۹۹	۰/۰۱۷
	۸۰	۰/۰۲۳۳۷	۰/۹۶۷۱	۰/۹۹	۰/۰۲۴
۱۳	۷۰	$۴/۴۸\times۱۰^{-۶}$	۲/۲۲۷	۰/۹۹	۰/۰۲۱
	۷۵	$۳/۸۷\times۱۰^{-۷}$	۲/۷۲۵	۰/۹۷	۰/۰۴۶
	۸۰	$۲/۳۳\times۱۰^{-۵}$	۲/۱۰۵	۰/۹۹	۰/۰۲۷

جدول ۳ - برازش مدل اصلاح‌شدهٔ پیج روی داده‌های رطوبت بدون بُعد در دما و ضخامت مختلف برش سیب

ضخامت (میلی‌متر)	دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	پارامتر مدل k (عکس ثانیه)	پارامتر مدل n	$Adj.R^2$	RMSE
۵	۷۰	۰/۴۲۲	۰/۰۲۵	۰/۹۵	۰/۰۶۷
	۷۵	۰/۴۰۸	۰/۰۳۵	۰/۹۷	۰/۰۴۹
	۸۰	۰/۴۶۰	۰/۰۴۹	۰/۹۸	۰/۰۳۲
۹	۷۰	۰/۴۸۴	۰/۰۰۸	۰/۷۸	۰/۱۵۲
	۷۵	۰/۴۷۷	۰/۰۱۳	۰/۸۳	۰/۱۳۷
	۸۰	۰/۳۰۲	۰/۰۶۷	۰/۹۹	۰/۰۲۴
۱۳	۷۰	۰/۴۸۴	۰/۰۰۷	۰/۸۴	۰/۱۳۵
	۷۵	۰/۴۸۴	۰/۰۰۷	۰/۷۷	۰/۱۵۱
	۸۰	۰/۴۱۰	۰/۰۱۴	۰/۸۵	۰/۱۲۳

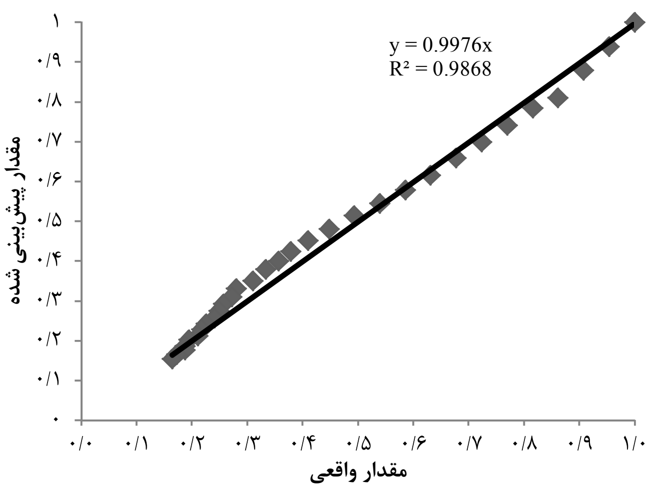
جدول ۴ - برازش مدل هندرسون–پابیس روی داده‌های رطوبت بدون بُعد در دما و ضخامت مختلف برش سیب

ضخامت (میلی‌متر)	دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	پارامتر مدل k (عکس ثانیه)	پارامتر مدل a	$Adj.R^2$	RMSE
۵	۷۰	۰/۰۱۱	۱/۱۰۴	۰/۹۶	۰/۰۵۷
	۷۵	۰/۰۱۵	۱/۰۴۵	۰/۹۷	۰/۰۴۷
	۸۰	۰/۰۲۳	۱/۰۱۶	۰/۹۸	۰/۰۳۲
۹	۷۰	۰/۰۰۵	۱/۲۲۴	۰/۸۵	۰/۱۲۳
	۷۵	۰/۰۰۸	۱/۲۲۰	۰/۸۹	۰/۱۱۰
	۸۰	۰/۰۲۰	۱/۰۱۱	۰/۹۹	۰/۰۲۴
۱۳	۷۰	۰/۰۰۴	۱/۲۴۱	۰/۹۰	۰/۱۰۲
	۷۵	۰/۰۰۴	۱/۲۰۰	۰/۸۳	۰/۱۲۹
	۸۰	۰/۰۰۷	۱/۲۰۲	۰/۹۱	۰/۰۹۷

جدول ۵ - برازش مدل پارابولیک روی داده‌های رطوبت بدون بُعد در دما و ضخامت مختلف برش سیب

ضخامت (میلی‌متر)	دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	پارامتر مدل a	پارامتر مدل -b (عکس ثانیه)	پارامتر مدل c $\times 10^{-5}$ (عکس مجذور ثانیه)	$Adj.R^2$	RMSE
۵	۷۰	۱/۰	۰/۰۰۷	۱/۲	۰/۹۹	۰/۰۱۱
	۷۵	۰/۹۶	۰/۰۰۹	۲/۳	۰/۹۹	۰/۰۱۶
	۸۰	۰/۹۲	۰/۰۱۴	۵/۵	۰/۹۸	۰/۰۲۹
۹	۷۰	۱/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۷۶	۰/۹۹	۰/۰۲۴
	۷۵	۱/۰۸	۰/۰۰۴	۰/۱۴	۰/۹۸	۰/۰۴۴
	۸۰	۰/۸۵	۰/۰۱۰	۳/۱	۰/۹۴	۰/۰۶۲
۱۳	۷۰	۱/۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۹۸	۰/۰۴۵
	۷۵	۰/۹۹	۰/۰۰۰۷	۰/۸۳	۰/۹۹	۰/۰۲۱
	۸۰	۱/۰۶	۰/۰۰۳	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۰۳۲

مدل پیج با ضرایب محاسبه‌شده در جدول (۲) می‌تواند الگوی خشک‌شدن طی پرتودهی را به‌خوبی در تیمارهای مختلف توصیف نماید. شکل (۳) مقدار پیش‌بینی‌شدهٔ نسبت رطوبتی (MR) را در مقابل مقدار واقعی برای مدل پیج نشان می‌دهد (R^2=۰/۹۸۶۸).

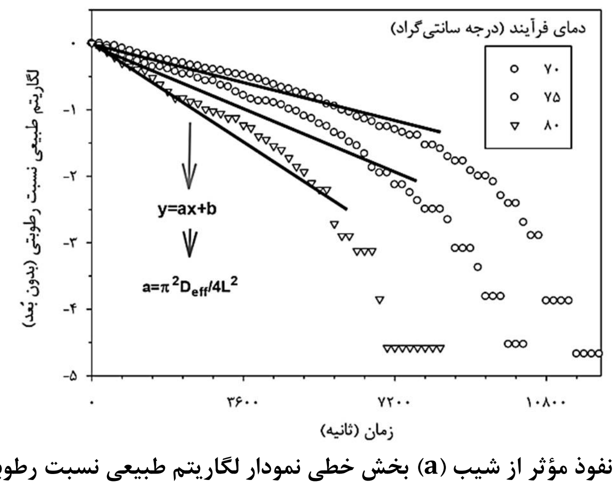


شکل ۳- مقدار پیش‌بینی‌شده نسبت رطوبتی (MR) در مقابل مقدار واقعی برای مدل پیج (ضخامت ۹ میلی‌متر دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد)

ضریب نفوذ مؤثر

شکل (۴) نشان‌دهندهٔ منحنی لگاریتم طبیعی نسبت رطوبتی در برابر زمان فرایند است. از شیب بخش خطی این منحنی برای محاسبهٔ ضریب نفوذ مؤثر استفاده شد.

جدول (۶) نتایج بررسی آماری تأثیر دو فاکتور دما و ضخامت را روی ضریب نفوذ مؤثر نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشخص است، تأثیر دمای سطحی و ضخامت محصول روی این پارامتر همواره معنی‌دار است.



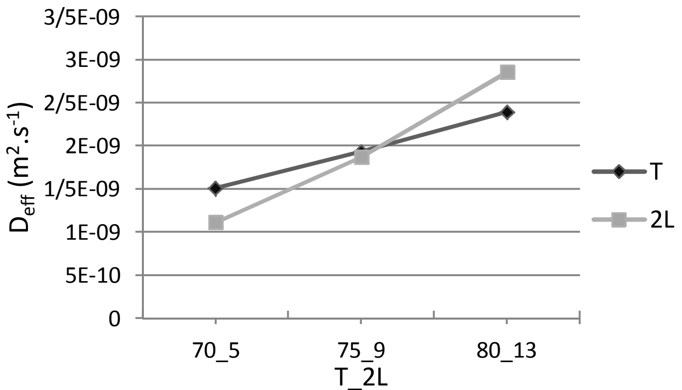
شکل ۴- نحوهٔ محاسبهٔ ضریب نفوذ مؤثر از شیب (a) بخش خطی نمودار لگاریتم طبیعی نسبت رطوبتی در برابر زمان فرایند در دماهای مختلف (ضخامت ۵ میلی متر)

جدول ۶- جدول تجزیهٔ واریانس (ANOVA) برای مقایسهٔ تأثیر دما و ضخامت محصول روی ضریب نفوذ مؤثر

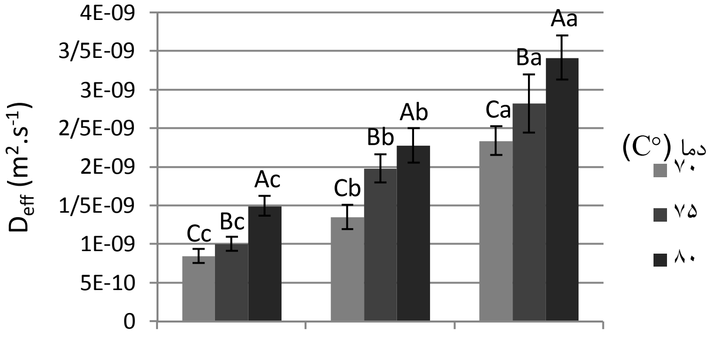
تیمار	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
مدل	$۱/۳۲۹\times۱۰^{-۱۶}$	۹	$۱/۴۷۶\times۱۰^{-۱۷}$	۳۳۲/۴۹۲	۰/۰۰۰۰
دما	۰/۰۰۰۰	۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
ضخامت	۰/۰۰۰۰	۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
دما×ضخامت (اثر متقابل)	۰/۰۰۰۰	۴	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
خطا	$۷/۹۹۲\times۱۰^{-۱۹}$	۱۸	$۴/۴۴۰\times۱۰^{-۲۰}$		
کل	$۱/۳۳۷\times۱۰^{-۱۶}$	۲۷			

اثر متقابل فاکتورهای مورد مطالعه (دما×ضخامت) نیز روی پارامتر انتقال جرم معنی‌دار مشاهده شد که نشان‌دهندهٔ اختلاف میزان قدرت تأثیر آنها روی ضریب نفوذ مؤثر است. نمایش معنی‌داری اثر متقابل در شکل (۵) ارائه شده است. همان‌طورکه مشخص است به‌ازای تغییر سطوح فاکتور دما سطوح فاکتور ضخامت روند تغییرات متفاوتی نشان می‌دهند که منجربه تقاطع نمودارها شده است.

شکل (۶) مقایسهٔ میزان میانگین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برای دماها و ضخامت‌های مختلف مورد آزمون را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشخص است، با افزایش دمای فرایند ضریب نفوذ مؤثر رطوبت همواره به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و برای ضخامت‌های بزرگ‌تر نیز به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. Sharma و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که انتشار آب مؤثر از محصول به‌طور معنی‌داری توسط دمای محفظهٔ مادون‌قرمز تحت‌تأثیر قرار گرفت و با افزایش دمای محفظهٔ خروج رطوبت تسریع یافت. Madamba (۲۰۰۳) بیان کرد که ضخامت محصول به‌عنوان یک عامل مهم متوسط نرخ خشک‌شدن (ADR) را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و برش‌های نازک به‌دلیل کاهش مسافت لازم برای خروج رطوبت و افزایش نسبت سطح به حجم سریع‌تر خشک می‌شوند.



شکل ۵ - نمایش اثر متقابل تأثیر دمای فرایند (T) و ضخامت محصول (2L) روی ضریب نفوذ مؤثر طی خشک‌کردن متناوب مادون‌قرمز، (به‌ازای تغییر سطوح دما و ضخامت تغییرات ضریب نفوذ مؤثر با شیب متفاوت مشاهده شد.)



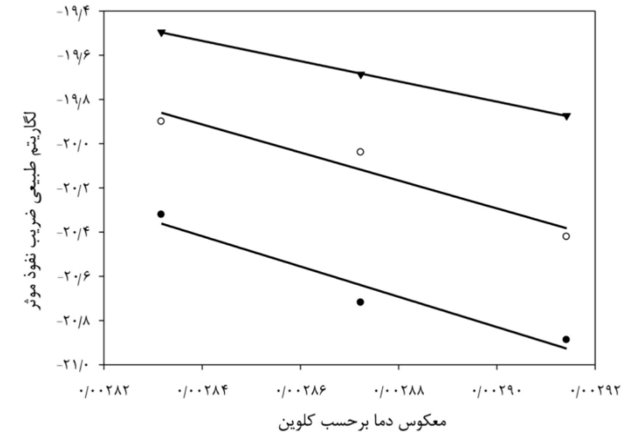
شکل ۶ - مقایسهٔ میانگین ضریب نفوذ مؤثر در دماهای حرارت‌دهی متناوب و ضخامت‌های مختلف محصول، حروف لاتین بزرگ مقایسهٔ بین دما و حروف لاتین کوچک مقایسهٔ بین ضخامت‌ها را نشان می‌دهد (P<۰/۰۵).

به‌منظور توضیح افزایش ضریب انتقال جرم به‌ازای افزایش ضخامت، بااین‌وجود می‌توان گفت شیب منحنی Ln MR در برابر زمان فرایند با افزایش ضخامت کاهش می‌یابد اما تغییرات آن ناچیز است و

به‌ترتیب برای ضخامت ۵، ۹ و ۱۳ میلی‌متر به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۰۴، ۰/۰۰۰۲ و ۰/۰۰۰۱ مشاهده شد. بنابراین با در نظرگیری شیب تقریباً ثابت برای ضخامت‌های مختلف و باتوجه‌به اینکه با افزایش ضخامت، بُعد مشخصه نیز در کسر ($-\pi^2D_{eff}/4L^2$) افزایش می‌یابد، می‌توان انتظار داشت ضریب نفوذ نیز زیاد شود. درهمین‌راستا، Nowak و Lewicki (۲۰۰۴) بیان کردند که افزایش سطح کلی محصول سیب در خشک‌کردن مادون‌قرمز منجربه شار جرمی بیشتر آب طی تبخیر خواهد شد. به نظر می‌رسد که با کاهش ضخامت نمونه، لایه‌های خشک‌تری در سطح محصول ایجادشده و این امر میزان ضریب نفوذ رطوبت را کاهش می‌دهد.

ارتباط ضریب نفوذ با دمای فرایند

شکل (۷) خطی‌سازی رابطهٔ آرنیوس را جهت بررسی تأثیر دمای فرایند روی پارامتر ضریب نفوذ مؤثر در ضخامت‌های مختلف آزمون نشان می‌دهد. اطلاعات این برازش برای ضخامت‌های مختلف در جدول (۷) ارائه شده است. همان‌طورکه مشخص است، با کاهش ضخامت برش سیب، پارامترهای (D_0) و (E_a) افزایش یافت. در ضخامت نازک، انرژی فعال‌سازی بالاتر نشان‌دهندهٔ وابستگی بیشتر ضریب نفوذ مؤثر به دما است (Marfil *et al.*, 2008). در واقع، شدت تبخیر آب در ضخامت بالای محصول، وابستگی کمتری به دمای فرایند دارد و افزایش دما می‌تواند سرعت تبخیر را به میزان کمتری نسبت به برش‌های نازک زیاد نماید. بنابراین برای محصولات نازک لازم است تا در انتخاب دمای فراوری دقت بیشتری شود تا از قهوه‌ای‌شدن محصولات فراوری‌شدهٔ سیب جلوگیری گردد (Chow *et al.*, 2011).



شکل ۷ - تغییرات لگاریتم طبیعی ضریب نفوذ مؤثر در برابر عکس دما (کلوین) در ضخامت‌های مختلف برش سیب

جدول ۷ - اطلاعات برازش رابطهٔ آرنیوس در ضخامت‌های مختلف برش سیب

ضخامت (میلی‌متر)	D_0	E_a (ژول بر مول)	$Adj.R^2$	RMSE
۵	۰/۳۸۱۲۵	۵۶۹۱۶/۶۵	۰/۸۹۰۱	۰/۰۹۶۳۹
۹	۰/۲۴۱۹۵	۵۴۱۴۱/۴۴	۰/۸۶۵۴	۰/۰۹۹
۱۳	۰/۰۰۱۴۶	۳۸۰۵۵/۲۲	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۳۸۵

نتیجه‌گیری

در این پژوهش رفتار خشک‌شدن مادون‌قرمز برش‌های سیب تحت‌تأثیر دماهای سطحی و ضخامت مختلف محصول سیب بررسی شد. مدل‌های پیج، پارابولیک و مدل هندرسون-پابیس الگوی خشک‌شدن را در دماها و ضخامت‌های مختلف مورد آزمون به‌خوبی توصیف نمودند. ضریب نفوذ مؤثر رطوبت به‌طور معنی‌داری با افزایش دما و ضخامت‌های مورد آزمون زیاد شد و با بررسی رابطهٔ آرنیوس می‌توان گفت شدت تبخیر آب در ضخامت بالای محصول وابستگی بیشتری به دمای

فرایند دارد. همچنین باتوجه‌به اینکه در روش‌های حرارت‌دهی مادون‌قرمز برای سبزیجات، بلانچینگ همواره بخش جدایی‌ناپذیر فرایند است، می‌توان تیمار مناسب با حداقل تغییرات وزنی در ابتدای فرایند را دمای پایین یا ضخامت بالا درنظرگرفت. زیرا تغییرات وزنی شدید منجربه بروز واکنش‌های شیمیایی نامطلوب در محصول خواهند شد.

منابع

1- Acevedo, N.C., Briones, V., Buera, P., & Aguilera, J.M. 2008. Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs. Journal of Food Engineering, 85(2):222-231.

2- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17th ed., Method of 934.06, Moisture content in dried fruits. Association of official analytical chemists. washington, DC, Unites States.

3- Basman, A., & Yalcin, S. 2011. Quick-boiling noodle production by using infrared drying. Journal of Food Engineering, 106(3):245-252.

4- Chow, Y.-N., Louarme, L., Bonazzi, C., Nicolas, J., & Billaud, C. 2011. Apple polyphenoloxidase inactivation during heating in the presence of ascorbic acid and chlorogenic acid. Food Chemistry, 129(3):761-767.

5- Doymaz, İ. 2010. Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of amasya red apples. Food and Bioproducts Processing, 88(2):124-132.

6- Doymaz, İ. 2014a. Infrared drying of button mushroom slices. Food Science and Biotechnology, 23(3):723-729.

7- Doymaz, İ. 2014b. Mathematical modeling of drying of tomato slices using infrared radiation. Journal of Food Processing and Preservation, 38(1):89-396.

8- González-Fésler, M., Salvatori, D., Gómez, P., & Alzamora, S. 2008. Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation. Journal of Food Engineering, 87(3):323-332.

9- Jaturonglumlert, S., & Kiatsiriroat, T. 2010. Heat and mass transfer in combined convective and far-infrared drying of fruit leather. Journal of Food Engineering, 100(2):254-260.

10-Jun, S., Krishnamurthy, K., Irudayaraj, J., Demirci, A. 2010. Fundamentals and Theory of Infrared Radiation. P. 1-19. In: Pan, Z., and Atungulu, G.G. (Eds.), Infrared Heating for Food and Agricultural Processing, CRC Press.

11-Liu, Y., Zhu, W., Luo, L., Li, X., & Yu, H. 2014. A mathematical model for vacuum far-infrared drying of potato slices. Drying Technology, 32(2):180-189.

12-Madamba, P.S. 2003. Thin layer drying models for osmotically pre-dried young coconut. Drying technology, 21(9): 1759-1780.

13-Marfil, P.H. M., Santos, E.M., & Telis, V.R. N. 2008. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. LWT-Food Science and Technology, 41(9):1642-1647.

14-Melito, H.S., & Farkas, B.E. 2013. Effect of infrared finishing process parameters on physical, mechanical, and sensory properties of par-fried, infrared-finished gluten-free donuts. Journal of Food Engineering, 117(3):399-407.

15-Nindo, C., & Mwithiga, G. 2010. Infrared Drying. P. 89-101. In: Pan, Z., and Atungulu, G.G. (Eds.), Infrared Heating for Food and Agricultural Processing, CRC Press.

16-Nowak, D., & Lewicki, P.P. 2004. Infrared drying of apple slices. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 5(3):353-360.

17-Pan, Z., & Atungulu, G.G. 2010. Infrared Dry Blanching. P. 169-203. In: Pan, Z., and Atungulu, G.G. (Eds.), Infrared Heating for Food and Agricultural Processing, CRC Press.

18-Pan, Z., Khir, R., Godfrey, L.D., Lewis, R., Thompson, J.F., & Salim, A. 2008. Feasibility of simultaneous rough rice drying and disinfestations by infrared radiation heating and rice milling quality. Journal of Food Engineering, 84(3):469-479.

19-Pan, Z., Olson, D.A., Amaratunga, K., Olsen, C.W., Zhu, Y., & McHugh, T.H. 2005. Feasibility of using infrared heating for blanching and dehydration of fruits and vegetables. Paper presented at the 2005 ASAE Annual Meeting, Number: 056086.

20-Saravacos, G.D., & Maroulis, Z.B. 2001. Food structure and transport properties, In: Transport properties of foods: CRC Press.

21-Sharma, G., Verma, R., & Pathare, P. 2005. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. Journal of Food Engineering, 67(3):361-366.

22-Swasdisevi, T., Devahastin, S., Sa-Adchom, P., & Soponronnarit, S. 2009. Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice. Journal of Food Engineering, 92(1):100-106.

23-Timoumi, S., Mihoubi, D., & Zagrouba, F. 2007. Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infra-red drying of apple slices. LWT-Food Science and Technology, 40(9):1648-1654.

24-Toğrul, H. 2005. Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. Journal of Food Engineering, 71(3):311-323.

25-Velickova, E., Winkelhausen, E., & Kuzmanova, S. 2014. Physical and sensory properties of ready to eat apple chips produced by osmo-convective drying. Journal of Food Science & Technology, 51(12), 3691-3701.

26-Vishwanathan, K.H., Giwari, G.K., & Hebbar, H.U. 2013. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. Food and Bioproducts Processing, 91(2):89-94.

27-Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., & Hu, X. 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. Food Research International, 40(1):39-46.

28-Yang, J., Bingol, G., Pan, Z., Brandl, M.T., McHugh, T.H., & Wang, H. 2010. Infrared heating for dry-roasting and pasteurization of almonds. Journal of Food Engineering, 101(3):273-280.

29-Zheleva, I., & Kamburova, V. 2009. Modeling of heating during food processing. P.79-99. Predictive Modeling and Risk Assessment, Springer.

30-Zhu, Y., & Pan, Z. 2009. Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. Journal of Food Engineering, 90(4):441-452.

31-Zhu, Y., Pan, Z., McHugh, T.H., & Barrett, D.M. 2010. Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. Journal of Food Engineering, 97(1):8-16.

Modeling of Mass Transfer in the Drying Process of Apple Slices Using Infrared Irradiation with Intermittent Heating Method

Hassan Sabbaghi[1*], Aman Mohammad Ziaiifar [2], Mahdi Kashaninejad[3]

1- Ph.D. Graduated, Food Processing Engineering Department, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources, Gorgan, Iran
* Corresponding author (hassansabbaghi@gmail.com)
2- Associate Professor, Food Processing Engineering Department, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- Professor, Food Processing Engineering Department, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Infrared radiation by intermittent heating is a novel method in which the surface temperature of the product is maintained at a constant value. This method is widely used in simultaneous blanching and drying process. The main advantages of intermittent IR-radiation are energy saving and preventing undesirable quality changes in the final product. The calculations of mass transfer in this process can be used to estimate the temperature and time conditions in the process. For this purpose, drying behavior of apples slices (Golden Delicious variety) was investigated with slab shape in three different sizes: thickness of 5, 9 and 13 mm and length and width was 20 mm. Heating operation performed by infrared dryer that was equipped with controller of product surface temperatures at 70, 75 and 80 °C. Kinetic models such as Newton, Page, Modified Page, Henderson-Pabis and parabolic were fitted on experimental data of dimensionless moisture ratio using MATLAB software. The adjusted correlation coefficient (Adj.R^2) and root mean square error (RMSE) were used to compare the models. The evaluation of effective moisture diffusivity (D_{eff}) performed during drying of slices and its dependency with temperature investigated using Arrhenius equation. The results showed that models of page and parabolic presented a good fit on experimental data, respectively (higher Adj.R^2 and lower RMSE). The effective diffusion coefficient significantly elevated with an increase in surface temperature and thickness. This parameter showed higher energy activation for lower thicknesses that indicated a greater irradiation temperature dependence of effective diffusion coefficient through the decreasing of thickness.

Keywords: Drying, Infrared, Intermittent Heating, Kinetic Model, Mass Transfer

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۱۰۴-۸۹

JRIFST

موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

شناسایی تقلبات شیر شتر با استفاده از مدل‌سازی تغییرات رنگی توسط پردازش تصویر و روش متقاطع مخلوط ـ فرایند

مرتضی کاشانی‌نژاد[1]، محبت محبی[2*]

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (mohebbatm@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۳

واژه‌های کلیدی
تغییرات رنگی
تقلب
روش مخلوط ـ فرایند
شیر شتر

چکیده

امروزه، تقلب مواد غذایی در جوامع مختلف با انگیزهٔ اقتصادی درحال‌گسترش است. ازطرفی تقلب و افزودن مواد کم‌هزینه به مادهٔ غذایی سلامتی مصرف‌کنندگان را به مخاطره می‌اندازد. شیر به‌ویژه شیر شتر باتوجه‌به محدودیت‌های تولید و ارزش اقتصادی بالا جزء مواردی است که از قدیم در آن تقلب صورت می‌گرفته است. ازطرفی با افزایش تقاضا برای محصولات غذایی با کیفیت و سالم انتظارات برای طراحی روش‌هایی که کار کنترل کیفی مواد غذایی را با دقت و سرعت بالا انجام دهد و درعین‌حال دارای صحت بالایی باشد افزایش یافته است. لذا در این پژوهش کشف تقلبات افزودن آب، شیر گاو و جوش‌شیرین به شیر شتر به کمک فرایند حرارتی و معرف با استفاده از مدل‌سازی تغییرات رنگی (*L، *a، *b، ΔE، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) توسط پردازش تصویر و روش متقاطع مخلوط ـ فرایند موردبررسی قرار می‌گیرد. باتوجه‌به اثرات معنی‌داری بیان‌شده، می‌توان نتیجه گرفت به‌منظور تشخیص تقلب شیر گاو به شیر شتر درصورتی‌که مخلوط این دو را حرارت دهیم با اندازه‌گیری اندیس قهوه‌ای‌شدن می‌توان به تقلب مربوطه پی‌برد و درصورتی‌که دراین‌روش از معرف نیز استفاده شود علاوه‌بر اندیس قهوه‌ای‌شدن از متغیرهای (*L، *a، *b و زاویهٔ فام) نیز می‌توان استفاده نمود. افزودن دو تقلب هم‌زمان شیر گاو و آب نیز ازطریق اندازه‌گیری (*L، *a، *b، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) قابل کشف می‌باشد. تشخیص افزودن جوش‌شیرین به شیر شتر نیز ازطریق اندازه‌گیری متغیرهای (*L، *a، *b، ΔE، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) امکان‌پذیر است.

مقدمه

افزایش جمعیت و کاهش تولید سرانهٔ مواد غذایی در کشورهای درحال‌توسعه، توجه به توسعهٔ منابع حاشیه‌ای مانند مراتع خشک و نیمه‌خشک و بهینه‌سازی موقعیت آنها ازطریق گسترش سیستم‌های مناسب تولید دام، به‌ویژه شتر را ضروری ساخته است. برخلاف سایر دام‌های شیرده، شتر می‌تواند در شرایط سخت دمایی، خشکسالی و کمبود علوفه رشد نموده و شیر تولید کند. بررسی‌ها نشان داده است شیر شتر دارای خاصیت دارویی است. پروتئین لاکتوفرین[1] در شیر شتر ۱۰ بار بیشتر از شیر گاو و دارای خاصیت ضدباکتریایی و ضدویروسی است. شیر شتر دارای قابلیت مبارزه با بیماری‌هایی مثل سرطان، آلزایمر، هپاتیت C، HIV، سل، زخم‌معده و دیابت می‌باشد.

[1] Lactoferrin

میزان آب شیر در شترهایی که آب کمتری مصرف می‌کنند، افزایش‌یافته و متعاقب مادهٔ جامد کل نیز کاهش می‌یابد. مقدار پروتئین شیر شتر بین ۲ تا ۵/۵ درصد است که بی‌شباهت به پروتئین گاو نیست. میزان ویتامین C آن در حدود ۳ برابر شیر گاو و ۱/۵ برابر شیر انسان می‌باشد و غنی از آهن، اسیدهای چرب غیراشباع و ویتامین B می‌باشد، درحالی‌که ویتامین A شیر شتر کم می‌باشد. متوسط لاکتوز شیر شتر (۴/۶۲ درصد) کمی پایین‌تر نسبت به شیر گاو (۴/۸۰ درصد) می‌باشد (El-Agamy EI & Nawar, 2000).

امروزه پدیدهٔ تقلب به‌طور گسترده‌ای در جوامع مختلف توسط افراد سودجو به‌طور عمدی و حساب‌شده در مواد غذایی اعمال می‌گردد. شیر به‌ویژه شیر شتر باتوجه‌به محدودیت‌های تولید و ارزش اقتصادی بالا جزء مواردی است که از قدیم در آن تقلب صورت می‌گرفته است. هرگونه دخل و تصرفی در شیر شتر (شامل افزودن آب، گرفتن چربی، افزودن آب نمک، آب‌پنیر، شیرخشک و اوره و غیره) یا افزودن مواد خنثی‌کننده (سدیم هیدروکسید[1]، کربنات‌ها[2]، بی‌کربنات‌ها[3] و غیره) و یا مواد بازدارندهٔ رشد میکروبی (ازقبیل آب‌اکسیژنه[4]، فرمالین[5]، بورات‌ها[6]، سوربات‌ها[7] و آنتی‌بیوتیک و غیره) به‌عنوان تقلب محسوب می‌شود. ازطرفی بررسی خلوص و کشف تقلبات در شیر شتر نیاز به انجام آزمایش‌هایی دارد که برخی از آنها مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است. لذا با افزایش تقاضا برای محصولات غذایی با کیفیت و سالم، انتظار برای طراحی روش‌هایی که کنترل کیفی مواد غذایی را با دقت و سرعت بالا انجام دهد و درعین‌حال دارای صحت بالایی باشد، افزایش یافته است.

از میان مشخصه‌های مواد غذایی ازجمله رنگ، اندازهٔ شکل و بافت که به‌منظور درجه‌بندی و کنترل کیفیت مواد غذایی به‌کار می‌رود، رنگ ساده‌ترین ویژگی برای اندازه‌گیری است که به‌راحتی توسط دوربین دیجیتال قابل اندازه‌گیری است (یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۲). بروز تغییر در رنگ مواد غذایی می‌تواند، حیاتی باشد زیرا می‌تواند شروع رسیدگی و یا اختلال را نشان دهد. درحال‌حاضر نیز از فضاهای رنگی و ارزش‌های وابستهٔ عددی برای ایجاد ارائه و تصویرسازی رنگ‌ها در فضاهای دوبُعدی و سه‌بُعدی استفاده می‌شود (Mery & Pedreschi, 2005). بیشترین موفقیت‌ها در تعیین کمی رنگ مواد غذایی برحسب قرمز، سبز و آبی مشهود بوده‌اند (Jackman *et al*., 2008). Huang و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند فضای رنگی $L^*a^*b^*$ مناسب‌ترین کاربرد را بعد از فضای RGB برای تصویربرداری به‌شیوهٔ دیجیتال دارد زیرا همبستگی میان R، G و B اجزای فضای رنگی RGB حذف شده‌اند (Huang *et al*., 2013). مدل رنگی یک استاندارد بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ است که توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی[8] ارائه گردید (یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۲). L^* مؤلفهٔ روشنایی یا درخشندگی است که دارای محدودهٔ صفر تا ۱۰۰ است و پارامتر a^* (از سبز تا قرمز) و b^* (از آبی تا زرد) دو مؤلفهٔ رنگی با محدوده‌ای از ۱۲۰ تا ۱۲۰ هستند. فضای رنگی lab ازنظر ادراکی یکنواخت است به‌طور مثال فاصلهٔ اقلیدسی[9] بین دو رنگ مختلف تقریباً مطابق با تفاوت رنگ درک‌شده توسط چشم انسان است (Huang *et al*., 2013).

رنگ شیر معمولاً سفید کدر یا به اصطلاح سفید چینی است که ناشی از انعکاس نور توسط گلبول‌های چربی و ذرات کلوئیدی، کازئینات کلسیم و فسفات کلسیم می‌باشد. وقتی که چربی شیر زیاد باشد (بخصوص چربی حاوی مقدار زیادی کاروتن باشد) رنگ شیر متمایل به زرد شده و در مقابل، شیر کم‌چربی یا شیری که به آن آب اضافه‌شده باشد، به‌طور خفیفی آبی رنگ به نظر می‌رسد. رنگ زرد شیر، ناشی از کاروتن (و تا حدی گزانتوفیل) است که رنگدانهٔ محلول در چربی می‌باشد. شدت رنگ زرد به عواملی نظیر نژاد، تغذیه، اندازهٔ گلبول‌های چربی، درصد چربی شیر و غیره بستگی دارد (Doan, 1924).

[1] Sodium Hydroxide
[2] Carbonates
[3] Bicarbonates
[4] Hydrogen Peroxide
[5] Formaldehyde
[6] Borates
[7] Sorbates
[8] International Commission on Illumination
[9] Euclidean Distance

مطالعه‌های زیادی دربارهٔ رنگ‌سنجی محصولات مختلف غذایی به‌منظور ارزیابی کیفی کنترل مراحل مختلف تولید و فراوری و درجه‌بندی محصولات انجام شده است. ازجمله محصولات موردتوجه دراین‌زمینه شیر و فراورده‌های لبنی هستند.

Cais-Sokolińska و همکاران (۲۰۰۴) همبستگی میان پارامترهای رنگی L*a*b* و میزان هیدروکسی‌متیل فورفورال[1] حاصل از واکنش میلارد در شیر استریلیزه را نشان دادند. Borin و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تحلیل تصاویر رقمی مقدار *لاکتوباسیلوس*[2] را در شیرهای تخمیری تعیین و بیان کردند که استفاده از تحلیل تصاویر رقمی برای محاسبهٔ میکروارگانیسم‌های غذایی روشی ارزان و بدون‌خطر خواهد بود. Dmytrów و همکاران (۲۰۱۰) خواص ارگانولپتیک و مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی ۲ نوع شیر بُز استریلیزه‌شدهٔ فرادما با مارک‌های تجاری مختلف را ارزیابی کردند. Santos و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تصاویر دیجیتال و کمومتریکس[3] مقدار آب و سدیم هیدروکسید را در شیر گاو تعیین کردند. Sullivan و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که تصاویر دیجیتالی می‌تواند اطلاعات مفیدی را در مورد جمعیت سلول‌های عفونی در شیر ارائه دهد. Kucheryavskiy و همکاران (۲۰۱۴) مقادیر چربی و پروتئین موجود در شیر گاو را با استفاده از تصاویر دیجیتالی معمولی تهیه‌شده توسط اسکنر محاسبه کردند. Masawat و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر دیجیتال موبایل آیفون و بهبود اپلیکیشن ColorConc در موبایل، وجود تتراسایکلین[4] در شیر گاو را تشخیص دادند. بهشتی مقدم (۱۳۹۰) امکان تعیین میزان چربی در شیر را توسط ماشین بینایی موردبررسی قرار داد. بهارلویی و همکاران (۱۳۹۳) میزان تازگی شیر فرادما را با تعیین شاخص‌های رنگی توسط پردازش تصویر تعیین کردند.

تاکنون پژوهشی درزمینهٔ تعیین تقلبات شیر شتر به کمک فرایند حرارتی و معرف ازطریق رنگ‌سنجی و با استفاده از تکنیک تحلیل تصویر صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق تعیین تقلب افزودن آب، شیر گاو و افزودن جوش‌شیرین به شیر شتر به کمک فرایند حرارتی و معرف با استفاده از مدل‌سازی تغییرات رنگی توسط تحلیل تصاویر رقمی و روش متقاطع مخلوط ـ فرایند است.

مواد و روش‌ها

تهیهٔ نمونه

شیر شتر و شیر گاو مورداستفاده با ترکیبات مشخص (جدول ۱) از بازار محلی مشهد تهیه شدند. آب مورداستفاده، آب‌مقطر بود و بی‌کربنات‌سدیم[5] یا جوش‌شیرین با فرمول $NaHCO_3$ با درجهٔ خلوص ۹۵ درصد و شناساگر رنگی متیل‌رد[6] (۱۰ گرم متیل‌رد در ۱۰۰ سی‌سی اتانول) از بازار محلی تهیه گردید.

روی شیر شتر تهیه‌شده پس از انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی ۳ تقلب رایج شامل افزودن شیر گاو، آب و افزودن جوش‌شیرین بر طبق طرح آماری مخلوط ـ فرایند صورت پذیرفت.

به‌منظور حذف اثر pH در تغییرات رنگی به‌وجودآمده در نمونه‌هایی که نیاز به افزودن جوش‌شیرین بود، نمونهٔ موردنظر ابتدا در دمای محیط (۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) حدود ۶ ساعت به‌منظور کاهش pH نگهداری شدند و سپس میزان جوش‌شیرین مشخصی به آنها افزوده شد تا پس از افزودن جوش‌شیرین، pH نهایی تمام نمونه‌ها یکسان باشد.

جدول ۱ – آنالیز شیمیایی شیر شتر و شیر گاو

نوع شیر	مادهٔ خشک (درصد)	چربی (درصد)	پروتئین (درصد)	لاکتوز (درصد)	سلول‌های سماتیک
گاو	۱۱/۰۵	۳/۳	۲/۵۶	۴/۶۷	۳۱۸
شتر	۹	۴/۱	۲/۷	۳/۱	۱۵۰۷

[1] Hydroxymethylfurfural
[2] Lactobacillus
[3] Chemometrics
[4] Tetracycline
[5] Sodium bicarbonate
[6] Methyl Red

طرح آزمایشی متقاطع مخلوط ــ فرایند

در این پژوهش اجزای طرح مخلوط شامل شیر شتر به میزان صفر تا ۱۰۰ درصد، شیر گاو به میزان صفر تا ۱۰۰ درصد و آب به میزان صفر تا ۵۰ درصد تعریف شد، به‌طوری‌که این اجزاء ۱۰۰ درصد وزن فرمول کلی را تشکیل دادند و فاکتورهای فرایند شامل فرایند حرارتی صفر تا ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد و افزودن جوش‌شیرین به میزان صفر تا ۱۰ میلی‌گرم انجام شد. به‌صورتی‌که تعداد کل تیمارهای نهایی حاصل از طرح متقاطع مخلوط ـ فرایند ۷۰ تیمار شد (جدول ۲ و ۳). سپس از ۷۰ تیمار تهیه‌شده دوسری تصویر تهیه شد. سری اول بلافاصله پس از تهیهٔ تیمارها عکس دیجیتال تهیه گردید و در سری دوم به هریک از تیمارها به میزان ۰/۵ سی‌سی معرف متیل‌رد اضافه گردید و سپس از آنها عکس تهیه شد تا بتوان تغییرات رنگی حاصل از اثر تقلبات را با استفاده از معرف نیز بررسی کرد.

جدول ۲ - سطوح کدبندی‌شدهٔ متغیرهای فرایند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط ــ فرایند

نام متغیر	نماد	نوع متغیر	سطوح متغیر +۱	سطوح متغیر −۱
شیر شتر (درصد)	X1	مخلوط	۱۰۰	۰
شیر گاو (درصد)	X2	مخلوط	۱۰۰	۰
آب (درصد)	X3	مخلوط	۵۰	۰
فرایند حرارتی (درجهٔ سانتی‌گراد)	X4	فرایند	۹۰	۰
جوش‌شیرین (میلی‌گرم)	X5	فرایند	۱۰	۰

جدول ۳- سطوح واقعی متغیرهای فرایند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط ــ فرایند

تیمار	مخلوط: شیر شتر	مخلوط: شیر گاو	مخلوط: آب	فرایند: فرایند حرارتی	فرایند: جوش‌شیرین
۱	۱۰۰	۰	۲۶/۷۵	۱۱/۷	۰/۵۶
۲	۱۰۰	۰	۰	۴۹/۵	۰/۲
۳	۵۴/۵۷	۰	۰	۳۳/۷۵	۱۰
۴	۱۰۰	۰	۴۵/۴۲	۱۸/۲۰	۶/۴۴
۵	۷۲/۵۶	۰	۰	۰	۰
۶	۷۲/۴۰	۰	۲۷/۴۳	۸۷/۷۵	۴/۶
۷	۷۳/۱۴	۰	۲۷/۵۹	۷۶/۹۵	۰
۸	۷۱/۰۹	۰	۲۶/۸۵	۶۰/۷۵	۸/۱
۹	۱۰۰	۰	۲۸/۹۰	۱۰/۸۱	۰/۸۷
۱۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰
۱۱	۱۰۰	۰	۰	۲/۲۵	۵/۵
۱۲	۷۳/۰۹	۰	۰	۴۹/۵۳	۵/۵
۱۳	۱۰۰	۰	۲۶/۹۰	۳۶	۱۰
۱۴	۷۲/۴۶	۰	۰	۹۰	۳/۸۵
۱۵	۷۲/۴۶	۰	۲۷/۵۳	۴۶/۸	۴/۹
۱۶	۱۰۰	۰	۲۷/۳۵	۴۶/۸	۴/۹
۱۷	۷۰/۹۸	۰	۰	۹۰	۱۰
۱۸	۷۰/۱۴	۰/۸۴	۲۸/۱۶	۹۰	۱۰
۱۹	۷۰/۹۹	۱/۱۸	۲۸/۶۶	۹۰	۴/۲۵
۲۰	۷۲/۱۵	۱/۳۵	۲۷/۶۴	۳۷/۳۵	۱۰
۲۱	۹۷/۵	۲/۱۷	۲۵/۶۷	۰	۷/۶۵
۲۲	۹۵	۲/۵	۰	۹۰	۰
۲۳	۳۶/۵۰	۵	۰	۰	۱۰
۲۴	۳۶/۴۵	۱۳/۴۹	۵۰	۱/۸	۴/۵
۲۵	۳۶/۳۸	۱۳/۵۴	۵۰	۹۰	۰
۲۶	۳۵/۶۰	۱۳/۶۱	۵۰	۳۳/۷۵	۰
۲۷	۳۴/۹۴	۱۴/۳۹	۵۰	۰	۱۰

ادامهٔ جدول ۳ - سطوح واقعی متغیرهای فرایند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط ـ فرایند

تیمار	مخلوط			فرایند	
	شیر شتر	شیر گاو	آب	فرایند حرارتی	جوش‌شیرین
۲۸	۳۲/۹۸	۱۵/۰۵	۵۰	۹۰	۱۰
۲۹	۳۲/۰۲	۱۷/۰۱	۵۰	۰	۱۰
۳۰	۳۱/۷۳	۱۷/۹۷	۵۰	۰	۰
۳۱	۳۰	۱۸/۲۶	۵۰	۴۹/۵	۴/۴۵
۳۲	۲۹/۸۱	۲۰	۵۰	۴۹/۵	۹/۸
۳۳	۲۹/۱۲	۲۰/۱۸	۵۰	۹۰	۶/۲۵
۳۴	۴۴/۹۱	۲۰/۸۷	۵۰	۶۳/۹	۲/۶۸
۳۵	۴۳/۷۷	۴۵/۳۱	۹/۷۷	۰	۰
۳۶	۳۲/۰۹	۴۵/۳۷	۱۰/۸۵	۹۰	۰
۳۷	۴۲/۲۷	۴۶/۲۸	۲۱/۶۲	۸۱	۶/۶۵
۳۸	۴۳/۵۱	۴۶/۴۶	۱۱/۲۵	۰	۱۰
۳۹	۴۶/۸۷	۴۶/۷۸	۹/۶۹	۰	۰
۴۰	۴۶/۸۷	۴۶/۸۹	۶/۲۲	۴۹/۵	۵/۵
۴۱	۴۶/۶۴	۴۶/۸۹	۶/۲۲	۴۹/۵	۵/۵
۴۲	۴۶/۶۴	۴۷/۲۸	۶/۰۶	۴۹/۵	۰/۱۵
۴۳	۴۶/۵۳	۴۷/۲۸	۶/۰۶	۴۹/۵	۰/۱۵
۴۴	۴۶/۴۷	۴۸/۰۳	۵/۴۲	۳۵/۱	۱۰
۴۵	۴۶/۴۷	۴۸/۲۴	۵/۲۷	۲/۲۵	۵/۵
۴۶	۴۶/۴۳	۴۸/۲۴	۵/۲۷	۲/۲۵	۵/۵
۴۷	۴۵/۲۵	۴۸/۴۴	۵/۱۱	۹۰	۳/۸۴
۴۸	۶/۸۸	۴۸/۷۷	۵/۹۷	۹۰	۱۰
۴۹	۵/۶۸	۶۲/۱۲	۳۰/۹۹	۹۰	۰
۵۰	۵/۸۲	۶۵/۲۳	۲۹/۰۸	۹۰	۱۰
۵۱	۳/۹۸	۶۵/۲۹	۲۸/۸۸	۰	۱۰
۵۲	۰	۶۵/۴۰	۳۰/۶۱	۹۰	۱۰
۵۳	۰	۶۷/۵۹	۳۲/۴۰	۸۸/۴۲	۴/۵
۵۴	۰	۶۷/۹۲	۳۲/۰۷	۰	۰
۵۵	۰	۶۸	۳۲	۴۰/۵	۹/۷۵
۵۶	۰	۶۸/۰۱	۳۱/۹۸	۰	۶/۰۵
۵۷	۰	۶۸/۹۱	۳۱/۰۸	۵۴/۴۵	۰
۵۸	۰	۶۹/۳۵	۳۰/۶۴	۴۰/۵	۴/۵
۵۹	۲۲/۰۶	۶۹/۳۵	۳۰/۶۴	۴۰/۵	۴/۵
۶۰	۰	۷۷/۹۳	۰	۴۵	۵/۳۳
۶۱	۰	۱۰۰	۰	۹۰	۰
۶۲	۰	۱۰۰	۰	۵۶/۴۱	۱۰
۶۳	۰	۱۰۰	۰	۰	۰
۶۴	۰	۱۰۰	۰	۰	۳/۷
۶۵	۰	۱۰۰	۰	۴۰/۵	۵/۵
۶۶	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰
۶۷	۰	۱۰۰	۰	۹۰	۱۰
۶۸	۰	۱۰۰	۰	۸۸/۲	۵/۵
۶۹	۰	۱۰۰	۰	۴۰/۵	۰/۲
۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۹۰	۰

نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری Design-Expert نسخهٔ ۹ به‌روش طرح آزمایشی متقاطع مخلوط ـفرایند آنالیز شد و هریک از متغیرهای پاسخ در قالب مدل رگرسیون به‌دست‌آمده از ترکیب مدل رگرسیونی طرح مخلوط و مدل رگرسیونی روش سطح پاسخ ارائه شد. فرمول عمومی طرح آزمایشی متقاطع مخلوط ـفرایند به‌دست‌آمده از ترکیب چندجمله‌ای به‌صورت تابعی از متغیرهای مستقل در طرح مخلوط با چندجمله‌ای در طرح روش سطح پاسخ به‌صورت رابطهٔ (۱) و (۲) ارائه شدند. چندجمله‌ای به‌صورت تابعی از متغیرهای مستقل در طرح مخلوط:

رابطهٔ (۱)

$$Y=\sum_{k=1}^{q}\beta_k x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=i+1}^{q}\beta_{kl}x_k x_l$$

در رابطهٔ (۱)، Y: عبارت است از متغیر تابع یا پاسخ؛ q: تعداد اجزای مخلوط xk: سطوح کدبندی‌شده اجزای مخلوط می‌باشند. چندجمله‌ای به‌صورت تابعی از متغیرهای مستقل در طرح سطح پاسخ:

رابطهٔ (۲)

$$Y=x_0+\sum_{i=1}^{m}x_i z_i+\sum_{i=1}^{m-1}\sum_{j=i+1}^{m}x_{ij}z_i z_j$$

در رابطهٔ (۲)، Y: عبارت است از متغیر تابع یا پاسخ، m: تعداد فاکتورهای فرایند و zi: سطوح کدبندی‌شدهٔ متغیرهای مستقل فرایند می‌باشند.

درنتیجه مدل رگرسیون ترکیبی (استف[1]) طرح آزمایشی متقاطع مخلوط ـ فرایند از رابطهٔ (۳) به‌دست می‌آید:

رابطهٔ (۳)

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

[1] Steff

در رابطهٔ (۳)، $\sum_{k=1}^{q}y_k^0 x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=i+1}^{q}y_{kl}^0 x_k x_l$ مربوط به اثرات خطی و غیرخطی اجزای مخلوط و $\left[\sum y_k^i x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=k+1}^{q}y_{kl}^i x_k x_l\right]z_i$ مربوط به اثرات خطی و غیرخطی متغیرهای فرایند و $\sum_{k=1}^{m-1}\sum_{l=i+1}^{m}\left[\sum_{k=1}^{q}y_k^{ij}x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=k+1}^{q}y_{kl}^{ij}x_k x_l\right]z_i z_g$ مربوط به اثرات خطی متقابل اجزای مخلوط و متغیرهای فرایند می‌باشد. سپس با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) معنی‌داربودن اثرات خطی، درجهٔ دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ بررسی شد.

استخراج خصوصیات تصویر نمونه‌ها

جهت عکس‌برداری از نمونه‌ها ۲۰ میلی‌لیتر از هر نمونه توسط سرنگ درون پلیت آزمایشگاهی ریخته شد. تجهیزات عکس‌برداری شامل یک اتاقک تاریک (جهت جلوگیری از ایجاد نوسان در عکس‌برداری و عدم بازتاب نور) و ۶ لامپ فلورسنت بود. عکس‌برداری با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon Power shot 1000D، ساخت ژاپن) متصل به رایانه صورت گرفت. دوربین در فاصلهٔ ۲۵ سانتی‌متری نمونه‌ها و موازی با آن روی پایهٔ ثابت قرارگرفته و تصویربرداری توسط نرم‌افزار zoom Browser Ex نسخهٔ ۵ انجام گرفت.

کلیهٔ تصاویر به فرمت JPG و دارای وضوح ۲۶۰۰×۳۹۰۰ پیکسل در قالب مدل رنگی RGB بودند. به‌منظور حذف بخش‌های اضافهٔ تصویر و نیز کاهش حجم کار پردازش تصویر در ابتدا برشی از تصاویر به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ پیکسل با استفاده از نرم‌افزار Image J به‌دست آمد و سپس آنالیز تصاویر نیز با استفاده از نرم‌افزار Image J (National Institute of Health، ساخت آمریکا) صورت پذیرفت.

پارامترهای دیگری که از پارامترهای رنگی فوق به‌دست می‌آیند شامل تغییر رنگ کلی[2]، شاخص کروما[3]، زاویهٔ فام[4] و اندیس قهوه‌ای‌شدن[5] است (Dadali *et al*.,

[2] Total color Change
[3] Chroma Index
[4] Shade Angel
[5] Browning Index

2007).

تغییر رنگ کلی: میزان تغییر رنگ نمونه‌ها یا میزان تیره‌شدن، مادهٔ غذایی را بعد از انجام تقلبات و در مقایسه با قبل از آن نشان می‌دهد (رابطهٔ ۴).

رابطهٔ (۴)

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

در رابطهٔ (۴)، صفر نشانگر پارامترهای رنگی قبل از انجام تقلبات می‌باشد.

شاخص کروما: نشان‌دهندهٔ میزان اشباع‌شدگی و یا شدت رنگ است که براساس رابطهٔ (۵) به‌دست می‌آید.

رابطهٔ (۵)

$$Chroma=\left(a^2+b^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

زاویهٔ فام: شاخصی از رنگ مواد غذایی است که زاویهٔ صفر و یا ۳۶۰ درجه نمایانگر رنگ قرمز و زاویه‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ نشان‌دهندهٔ رنگ‌های زرد، سبز و آبی می‌باشد (رابطهٔ ۶).

رابطهٔ (۶)

$$ShadeAngel=\tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

شاخص قهوه‌ای‌شدن: یکی دیگر از شاخص‌های مورد اندازه‌گیری پارامترهای رنگی است که میزان تغییر رنگ محصول به سمت رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد و ازطریق رابطهٔ (۷) محاسبه می‌شود.

رابطهٔ (۷)

$$BI=\frac{\left(100-\left(X-0.31\right)\right)}{0.71}$$

در رابطهٔ (۷)، x برابر است با:

$$X=\frac{a+1.75L}{5.645L+a-3.012b}.$$

نتایج وبحث

مدل‌سازی

ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای هریک از متغیرهای تابع در جدول‌های (۴) و (۵) آمده است. برای بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و تست عدم برازش استفاده گردید. همان‌طورکه در جدول‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است عدم برازش برای کلیهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین بالابودن ضریب تبیین و معنی‌دارنبودن عدم برازش برای تمامی پاسخ‌ها صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند. برای مشاهدهٔ بهتر اثر متغیرهای مستقل روی صفات مورد آزمایش، نمودارهای سطح پاسخ رسم شد (شکل‌های ۱-۸).

جدول ۴ - ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیرهای پاسخ (نمونه‌های فاقد معرف)

	L*	a*	b*	ΔE	زاویهٔ فام	شاخص کروما	اندیس قهوه‌ای‌شدن
AB	+۰/۴۶	-۰/۵۲	+۰/۶۷	-۲/۶۸	-۰/۰۸۹	-۳/۹۰	-۷/۰۸۳E-۰۰۴
AC	-۲/۵۵	-۱/۷۹	-۳/۹۵	+۳/۱۳	+۰/۱۶	+۴۳/۰۷	+۰/۰۱۳
AD	-۰/۱۷	-۰/۱۹	-۰/۲۴	+۰/۳۲	+۵/۱E-۰۰۳	+۳/۱۷	+۹/۳۲۴E-۰۰۴
AE	-۰/۴۴	+۰/۰۱۷	-۰/۶۶	+۰/۷۸	+۰/۰۴۹	+۴/۳۱	+۱/۵۵۶E-۰۰۳
BC	-۲/۰۴	-۰/۵۵	-۳/۱۰	-۰/۳۰	+۰/۲۲	+۲۱/۲۹	+۸/۴۳۵E-۰۰۳
BD	-۰/۲۰	-۰/۰۳۷	-۰/۳۰	+۲۱/۰	+۰/۰۲۳	+۲۱/۲	+۷/۹۶۵E-۰۰۴
BE	-۰/۵۴	-۰/۵۳	-۰/۸۳	-۰/۰۶	+۰/۰۲۶	+۸/۱۴	+۲/۹۳۳E-۰۰۳
CD	-۱/۳۴	-۰/۸۲	-۲/۰۱	+۲/۶۱	+۰/۰۹۴	+۲۰/۱۵	+۶/۳۶۰E-۰۰۳
CE	-۳/۰۶	-۱/۵۸	-۴/۶۴	+۲/۴۷	+۰/۲۳	+۳۹/۹۱	+۰/۰۱۴
ABD	-۰/۰۸۶	+۰/۴۲	-۰/۱۵	+۰/۷۱	+۰/۰۳۲	-۱/۸۷	-۳/۹۷۲E-۰۰۴
ABE	-۰/۳۹	+۰/۴۴	-۰/۵۹	+۱/۲۶	+۰/۰۸۵	+۱/۱۴	+۶/۳۸۸E-۰۰۴
ACD	+۲/۵۰	+۰/۹۷	+۳/۷۱	-۴/۶۷	-۰/۲۲	-۳۱/۲۰	-۰/۰۱۱
ACE	+۲/۷۰	+۲/۰۷	+۴/۰۹	-۰/۳۹	-۰/۱۷	-۳۶/۲۱	-۰/۰۱۴
ADE	+۰/۰۱۱	-۰/۰۸۷	+۰/۰۲۱	-۰/۰۱	-۸/۶۷E-۰۰۳	+۰/۶۹	+۱/۱۰۳E-۰۰۴
BCD	+۱/۵۰	+۰/۷۸	+۲/۲۶	-۴/۳۱	-۰/۱۱	-۲۳/۸۸	-۶/۹۱۲E-۰۰۳
BCE	+۷/۱۸	+۴/۹۱	+۱۰/۹۲	-۴/۴۶	-۰/۴۵	-۱۰۱/۰۰	-۰/۰۳۵
BDE	-۰/۰۷۶	+۰/۱۱	-۰/۱۱	+۰/۴۲	+۰/۰۱۵	+۰/۴۵	+۸/۶۴۶E-۰۰۵

ادامهٔ جدول ۴ - ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیرهای پاسخ (نمونه‌های فاقد معرف)

	L*	a*	b*	ΔE	زاویهٔ فام	شاخص کروما	اندیس قهوه‌ای‌شدن
CDE	+۱/۸۰	-۰/۵۸	+۲/۷۲	-۲/۵۲	-۰/۲۵	-۱۳/۸۱	-۵/۵۴۱E-۰۰۳
ABDE	-۰/۶۷	-۰/۷۰	-۱/۰۳	+۰/۳۸	+۰/۰۳۳	+۱۰/۴۲	+۳/۷۲۷E-۰۰۳
ACDE	-۳/۶۶	+۰/۹۶	-۵/۵۴	+۵/۴۷	+۰/۴۸	+۳۰/۰۶	+۰/۰۱۲
BCDE	-۲/۸۳	+۱/۴۰	-۴/۲۶	+۳/۴۸	+۰/۴۳	+۱۷/۵۷	+۷/۷۲۰E-۰۰۳
Lack of Fit	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
(R2)	۰/۹۹	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۹۰

جدول ۵ - ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیرهای پاسخ (نمونه‌های حاوی معرف)

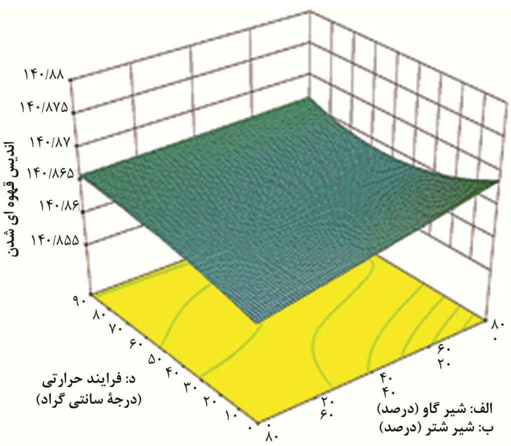
	L*	a*	b*	ΔE	زاویهٔ فام	شاخص کروما	اندیس قهوه‌ای‌شدن
AB	-۰/۳۸	+۳/۲۰	-۰/۳۳	+۲/۸۰	+۰/۱۹	+۴۹/۵۲	-۴/۷۵۴E-۰۰۳
AC	-۷/۸۲	+۱۱/۶۰	-۵/۳۹	+۱۴/۶۵	+۰/۲۳	+۶۷/۳۸	-۲/۰۵۷E-۰۰۳
AD	-۰/۸۸	+۱/۷۳	-۰/۶۱	+۱/۹۶	+۰/۰۵۱	+۳۳/۷۶	-۹/۷۴۰E-۰۰۴
AE	-۱/۶۶	+۰/۷۸	-۱/۰۸	+۱/۲۶	-۸/۳۱۵E-۰۰۳	+۳۶/۸۱	+۲/۵۵۱E-۰۰۳
BC	-۰/۰۳۵	-۴/۱۶	+۶/۱E-۰۰۳	-۳/۲۸	-۰/۰۲۵	-۴۰۸/۸۸	+۷/۳۱۲E-۰۰۳
BD	-۱/۷۳	+۱/۶۸	-۱/۱۴	+۲/۰۳	+۰/۰۱۱	+۵/۹۰	+۱/۱۲۴E-۰۰۳
BE	-۱/۱۳	+۰/۸۰	-۰/۷۴	+۱/۰۸	+۱/۳E-۰۰۳	+۲۹/۴۰	+۱/۲۳۸E-۰۰۳
CD	-۱۳/۸۰	+۲۳/۲۰	-۹/۱۴	+۲۶/۶۲	+۰/۶۷	+۴۶۱/۵۳	-۸/۴۰۹E-۰۰۳
CE	+۳/۳۴	-۶/۴۳	+۲/۱۱	-۶/۶۳	-۰/۳۲	-۱۱۲/۰۹	+۳/۵۶۵E-۰۰۳
ABD	-۲/۶۰	+۳/۳۷	-۱/۷۷	+۴/۳۶	+۰/۱۳	+۶۶/۶۲	+۲/۱۳۱E-۰۰۴
ABE	+۰/۳۰	-۳/۷۹	+۰/۲۴	-۳/۴۱	-۰/۱۸	-۴۰/۷۴	+۵/۹۴۰E-۰۰۳
ACD	+۲۰/۳۷	-۳۱/۹۸	+۱۳/۳۵	-۳۶/۹۷	-۰/۹۱	-۶۴۰/۷۱	+۸/۴۲۹E-۰۰۳
ACE	-۱/۴۲	+۷/۲۸	-۰/۷۴	+۶/۶۶	+۰/۴۷	+۷۸/۱۳	-۹/۷۴۲E-۰۰۳
ADE	-۰/۴۰	+۱/۷۳	-۰/۲۶	+۱/۸۴	+۰/۰۶۸	+۲۴/۳۳	-۲/۱۱۹E-۰۰۳
BCD	+۲۷/۵۵	-۴۴/۸۳	+۱۸/۳۰	-۵۱/۴۳	-۱/۲۷	-۸۹۹/۵۷	+۰/۰۱۴
BCE	-۶/۳۲	+۱۱/۶۲	-۴/۰۷	+۱۱/۷۴	+۰/۵۳	+۲۳۹/۴۲	-۵/۶۵۱E-۰۰۳
BDE	-۱/۱۷	+۱/۰۱	-۰/۷۷	+۱/۳۸	+۶/۵۴۷E-۰۰۳	+۳۶/۱۶	+۹/۷۸۱E-۰۰۴
CDE	+۱/۷۴	+۱۴/۳۲	+۰/۹۸	+۱۳/۴۶	+۰/۷۷	+۴۳/۰۰	-۰/۰۳۰
ABDE	-۲/۱۲	+۰/۶۹	-۱/۳۸	+۱/۶۸	-۰/۰۱۵	+۳۷/۳۱	+۳/۷۹۰E-۰۰۳
ACDE	-۴/۰۵	-۲۷/۰۲	-۲/۳۹	-۲۵/۱۱	-۱/۴۳	-۱۰۳/۲۳	+۰/۰۵۸
BCDE	-۰/۹۸	-۲۳/۹۴	-۰/۴۱	-۲۳/۲۹	-۱/۲۴	-۸۱/۵۸	+۰/۰۴۵
Lack of Fit	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
(R^2)	۰/۹۹	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۹۰

بررسی اثر افزودن شیر گاو

نتایج بررسی‌ها نشان داد که *L، *a و *b نمونهٔ شیر شتر مورد آزمون به‌ترتیب ۹۶/۴۶، ۷/۶۲- و ۵/۴۵- و برای نمونه‌های شیر شتری که به آنها شیر گاو افزوده‌شده بود نیز به‌ترتیب ۹۶/۱۶، ۷/۶۷- و ۵/۹۱- بود. در کلیهٔ متغیرهای وابستهٔ طرح (*L، *a، *b، ΔE، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) اثر خطی افزودن شیر گاو به شیر شتر معنی‌دار نبود (P>۰/۰۱). Fox (۲۰۰۳) بیان‌کرد که رنگ شیر ناشی از انعکاس نور توسط گلبول‌های چربی و ذرات کلوئیدی کازئینات کلسیم و فسفات کلسیم می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد در تحقیق حاضر باتوجه‌به شرایط آزمون اختلاف‌های ناشی از ایجاد رنگ در نمونه‌های شیر گاو و شیر شتر کم بوده، امکان تشخیص تقلب شیر گاو با شیر شتر به تنهایی ازطریق شاخص‌های رنگی حتی با حضور معرف وجود ندارد.

در بین اثرات متقابل نیز تنها اثر متقابل افزودن شیر گاو و جوش‌شیرین بر متغیرهای (*L، *b، ΔE و زاویهٔ فام) و همچنین اثرات افزودن شیر گاو و فرایند حرارتی و شیر شتر بر اندیس قهوه‌ای‌شدن معنی‌دار

بود و در بین اثرات خطی و متقابل در حضور معرف نیز علاوه‌بر اثر متقابل افزودن شیر گاو و جوش‌شیرین اثر متقابل افزودن شیر گاو و آب و فرایند حرارتی نیز بر متغیرهای (L^*، a^*، b^*، ΔE، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) معنی‌دار بود. Popov-Raljic و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که فرایند حرارتی شیر گاو در دمای بالا سبب افزایش L^* و b^* و کاهش a^* می‌شود. لذا باتوجه‌به اثرات معنی‌داری بیان‌شده می‌توان نتیجه گرفت که جهت تشخیص تقلب شیر گاو به شیر شتر درصورتی‌که مخلوط این دو را حرارت دهیم با اندازه‌گیری اندیس قهوه‌ای‌شدن می‌توان به تقلب مربوطه پی‌برد و درصورتی‌که دراین‌روش از معرف نیز استفاده شود علاوه‌بر اندیس قهوه‌ای‌شدن از متغیرهای (L^*، a^*، b^*، ΔE و زاویهٔ فام) نیز می‌توان استفاده نمود. افزودن دو تقلب هم‌زمان شیر گاو و آب نیز ازطریق اندازه‌گیری (L^*، a^*، b^*، ΔE، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) قابل کشف می‌باشد. Rhim و همکاران (۱۹۸۸) بیان کردند که تغییرات قهوه‌ای‌شدن شیر گاو حرارت‌دیده، به شدت فرایند حرارتی آن وابسته است. شکل (۱) تأثیر تغییر نسبت‌های شیر گاو و شیر شتر و میزان فرایند حرارتی را روی اندیس قهوه‌ای‌شدن نشان می‌دهد.



شکل ۱ - تأثیر تغییر نسبت‌های شیر گاو و شیر شتر و میزان فرایند حرارتی بر اندیس قهوه‌ای‌شدن

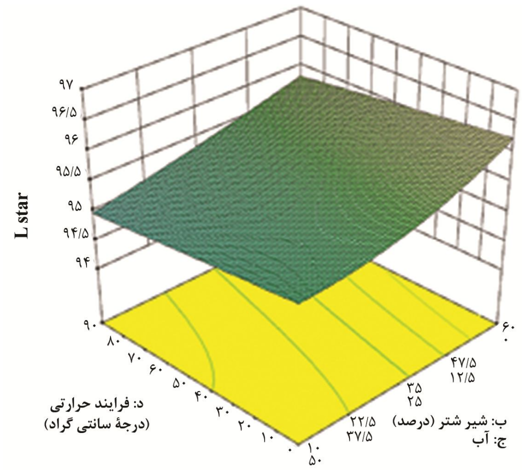
باتوجه‌به شکل (۱) می‌توان دریافت که در شرایطی که نمونه دارای ۲۰ درصد آب و ۵ میلی‌گرم جوش‌شیرین باشد، بالاترین میزان اندیس قهوه‌ای‌شدن متعلق به نمونه با ۸۰ درصد شیر گاو و صفر درصد شیر شتر و اعمال فرایند حرارتی ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد همچنین باتوجه‌به نتایج شکل (۱) می‌توان دریافت که با افزایش شیر گاو و فرایند حرارتی به نمونهٔ شیر شتر، اندیس قهوه‌ای‌شدن افزایش یافت.

بررسی اثر افزودن آب

نتایج جدول‌های (۴) و (۵) نشان می‌دهند که اثرات متقابل آب و شیر شتر بر متغیرهای (L^*، a^*، ΔE و زاویهٔ فام) درصورتی‌که از معرف استفاده شود، معنی‌دار خواهد بود. بدین معنی است که درصورت اضافه نمودن تقلب آب به شیر شتر می‌توان با افزودن معرف به نمونه و اندازه‌گیری متغیرهای (L^*، b^* و زاویهٔ فام) تقلب مربوطه را کشف کرد. Santos و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند درصورتی‌که به شیر گاو حدود ۷ درصد آب اضافه شود پارامترهای رنگی H، S و B تغییر خواهند داشت به‌طوری‌که S کاهش می‌یابد.

همچنین نتایج نشانگر معنی‌داربودن اثرات متقابل آب و شیر شتر و فرایند حرارتی بر متغیرهای (L^*، a^*، b^*، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) در نمونه‌های حاوی معرف خواهد بود، که در این مورد نیز می‌توان نتیجه گرفت به‌منظور تشخیص تقلب آب به شیر شتر درصورتی‌که مخلوط این حاصل را حرارت دهیم و به آن معرف اضافه کنیم، تقلب موجود ازطریق اندازه‌گیری تغییرات (L^*، a^*، b^*، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) قابل کشف می‌باشد. Santos و Pereira-Filho (۲۰۱۳) نیز تقلب افزودن آب (بالاتر از ۱۰ درصد) به شیر گاو را با استفاده از تصاویر دیجیتال و پارامترهای رنگی شناسایی کردند.

باتوجه‌به جدول‌های (۴) و (۵) اثرات متقابل آب و شیر شتر و جوش‌شیرین بر متغیرهای (L^*، b^*، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) در کلیهٔ نمونه‌های فاقد و یا حاوی معرف نیز معنی‌دار است که در این مورد نیز می‌توان نتیجه گرفت افزودن دو تقلب هم‌زمان جوش‌شیرین و آب نیز ازطریق اندازه‌گیری (L^*، b^*، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) در شیر شتر قابل کشف می‌باشد. شکل (۲) تأثیر تغییر نسبت‌های آب و شیر شتر و میزان فرایند حرارتی را روی L^* نشان می‌دهد.

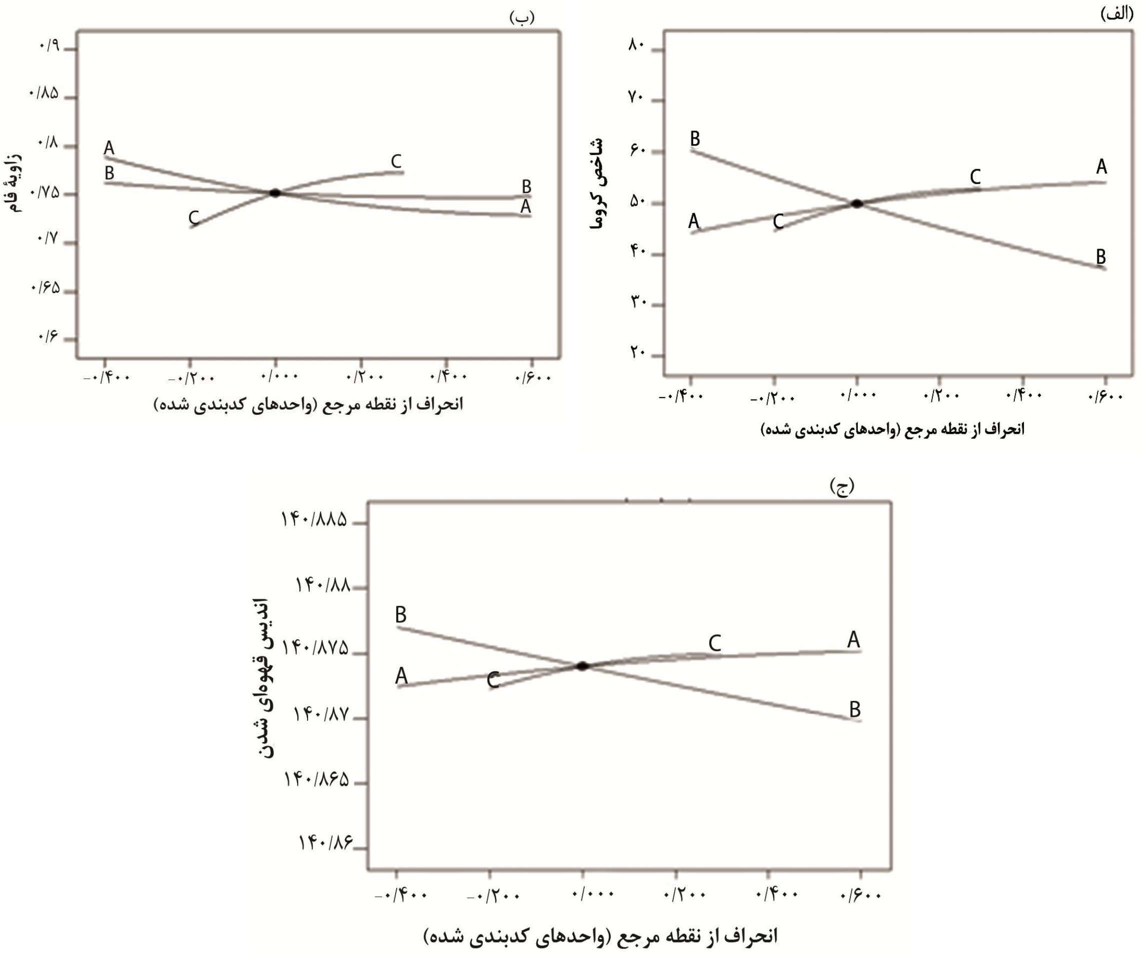


شکل ۲ - تأثیر تغییر نسبت‌های آب و شیر شتر و میزان فرایند حرارتی بر L^*

باتوجه‌به نتایج شکل (۲) می‌توان دریافت که افزایش میزان آب به شیر شتر سبب کاهش L^* به‌ویژه در نمونه‌هایی که فرایندهای حرارتی بالاتری به‌کاربرده شده است.

شکل (۳) نیز تأثیر تغییر نسبت‌های آب و شیر شتر و شیر گاو را در شرایطی که میزان فرایند حرارتی ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد و میزان جوش‌شیرین نمونه‌ها ۵ میلی‌گرم است را روی شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن نشان می‌دهد.

همان‌طورکه در شکل (۳) مشاهده می‌کنید با افزایش میزان آب نمونه‌ها و کاهش شیر شتر میزان شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن افزایش پیدا کرده است، درحالی‌که با افزایش شیر گاو شاخص کروما و اندیس قهوه‌ای‌شدن افزایش ولی زاویهٔ فام کاهش یافته است.

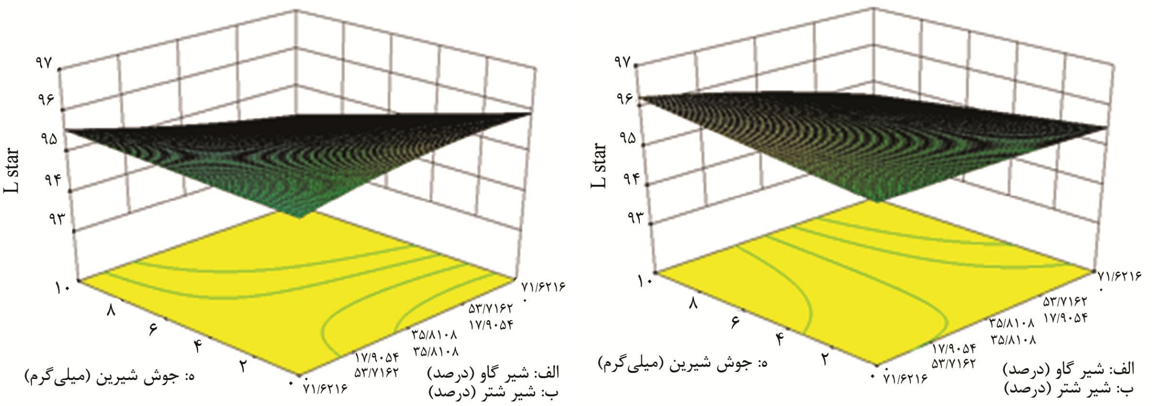


شکل ۳ - تأثیر تغییر نسبت‌های آب، شیر شتر و شیر گاو بر شاخص کروما (الف)، زاویهٔ فام (ب) و اندیس قهوه‌ای‌شدن (ج) در شرایطی که میزان فرایند حرارتی ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد و میزان جوش‌شیرین نمونه‌ها ۵ میلی‌گرم است.

بررسی اثر افزودن جوش‌شیرین

طبق نتایج جدول‌های (۴) و (۵) اثر متقابل جوش‌شیرین با شیر شتر برای نمونه‌های فاقد معرف در سطح ۰/۰۱ و با شیر گاو در سطح ۰/۰۰۱ برای متغیرهای (L^*، a^*، b^*، ΔE و زاویهٔ فام) معنی‌دار بود. درحالی‌که اثرات مطرح‌شده برای نمونه‌های حاوی معرف برای کلیهٔ متغیرهای (L^*، a^*، b^*، ΔE، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود. همچنین با بررسی اثرات متقابل شیر شتر و جوش‌شیرین و فرایند حرارتی به‌ویژه برای نمونه‌های حاوی معرف می‌توان دریافت که اثرات آن برای کلیهٔ نمونه‌ها برای متغیرهای (L^*، a^*، b^*، ΔE، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود. Santos و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند درصورتی‌که به شیر گاو سود اضافه شود از روی پارامترهای رنگی و اندازه‌گیری پارامتر G عکس تهیه‌شده از نمونه‌ها می‌توان به تقلب مربوطه پی‌برد. لذا به نظر می‌رسد جوش‌شیرین روی رنگ نمونه‌ها بسیار اثرگذاربوده به‌ویژه در نمونه‌هایی که حاوی معرف بودند. ازطرفی سطوح معنی‌داری بالای استفاده از فریند حرارتی برای متغیرهای مختلف نیز می‌تواند ناشی از تجزیهٔ جوش‌شیرین در اثر فرایند حرارتی و تغییرات pH و درنتیجه ایجاد تغییرات رنگی بیشتر خواهد بود. لذا به‌منظور تشخیص استفاده جوش‌شیرین می‌توان ازطریق اندازه‌گیری متغیرهای (L^*، a^*، b^*، ΔE، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) اقدام نمود.

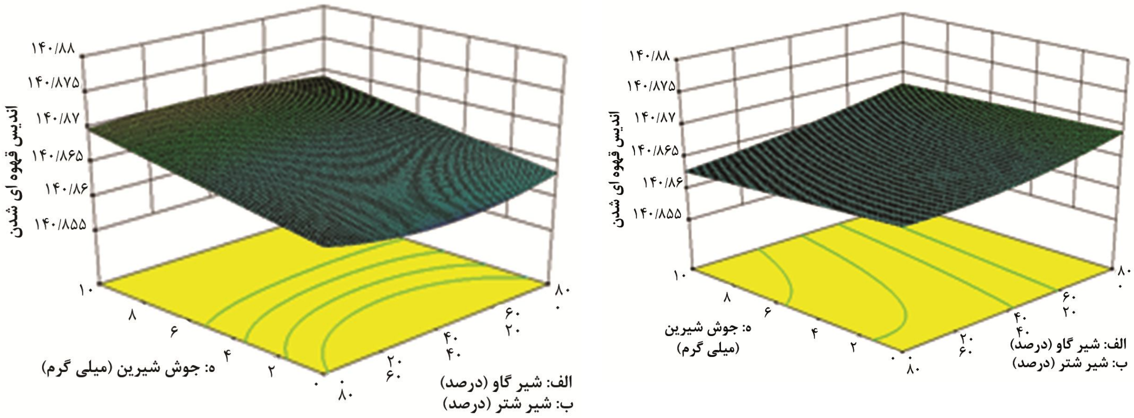
شکل (۴) تأثیر تغییر نسبت‌های شیر گاو و شیر شتر و میزان جوش‌شیرین را در شرایطی که فرایند دمای اعمال فرایند حرارتی صفر درجهٔ سانتی‌گراد (الف) و ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد (ب) است و نمونهٔ فاقد معرف را روی L^* نشان می‌دهد. همان‌طورکه در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود با افزایش میزان جوش‌شیرین و کاهش شیر شتر در شرایطی که فرایند حرارتی صفر درجهٔ سانتی‌گراد اعمال‌شده، میزان L^* نیز افزایش پیدا کرده است، درصورتی‌که شیب این افزایش نیز در نمونه‌هایی که فرایند حرارتی ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد اعمال شده است (شکل ۴-ب)، بیشتر است.



شکل ۴ - تأثیر تغییر نسبت‌های شیر گاو و شیر شتر و میزان جوش‌شیرین بر L^* در شرایطی که فرایند حرارتی صفر درجهٔ سانتی‌گراد (الف) و ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد (ب) است (نمونهٔ فاقد معرف).

شکل (۵) نیز تأثیر تغییر نسبت‌های شیر گاو و شیر شتر و میزان جوش‌شیرین را در شرایطی که فرایند دمای اعمال فرایند حرارتی صفر درجهٔ سانتی‌گراد (الف) و ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد (ب) است و نمونهٔ دارای معرف را روی اندیس قهوه‌ای‌شدن نشان می‌دهد.

همان‌طورکه در شکل (۵-الف) مشاهده می‌شود با افزایش میزان جوش‌شیرین در شرایطی که فرایند حرارتی صفر درجهٔ سانتی‌گراد اعمال‌شده میزان اندیس قهوه‌ای‌شدن نیز افزایش پیدا کرده است درصورتی‌که شیب این افزایش نیز در نمونه‌هایی که فرایند حرارتی ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد اعمال شده است (شکل ۵-ب)، بیشتر است که نشان‌دهندهٔ اثر بیشتر فرایند حرارتی و جوش‌شیرین بر اندیس قهوه‌ای‌شدن است.



شکل ۵ - تأثیر تغییر نسبت‌های شیر گاو و شیر شتر و میزان جوش‌شیرین بر اندیس قهوه‌ای‌شدن در شرایطی که فرایند حرارتی صفر درجهٔ سانتی‌گراد (الف) و ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد (ب) است (نمونهٔ دارای معرف).

بررسی چندمثال موردی کشف تقلبات

با استفاده از قابلیت بهینه‌سازی عددی در نرم‌افزار Design Expert که به‌صورت تابعی که مرغوبیت نامیده می‌شود، مثال‌هایی از شرایط دقیق کشف تقلبات انجام‌شده در شیر شتر بیان شد. درجهٔ مرغوبیت کلی (D) یک میانگین هندسی از همهٔ درجهٔ مرغوبیت‌های منفرد (di) است که از صفر تا ۱ تغییر می‌کند.

رابطهٔ (۹)

$$D = (d_۱ \times d_۲ \times \ldots \times d_n)^{\frac{۱}{n}} = \left(\prod_{i=1}^{n} d_i\right)^{\frac{۱}{n}}$$

در رابطهٔ (۹)، n تعداد پاسخ‌هاست. اگر هریک از پاسخ‌ها در خارج از محدودهٔ تعیین‌شده قرار گیرد، آنگاه درجهٔ مرغوبیت برابر با صفر می‌شود. برای بهینه‌سازی هم‌زمان، هر متغیر و پاسخ باید دارای حد بالا و پایین باشند. متغیرهای ورودی (مثل فاکتورها و مؤلفه‌ها) به‌طور اتوماتیک در محدودهٔ تعیین‌شده و مطلوب قرار می‌گیرند.

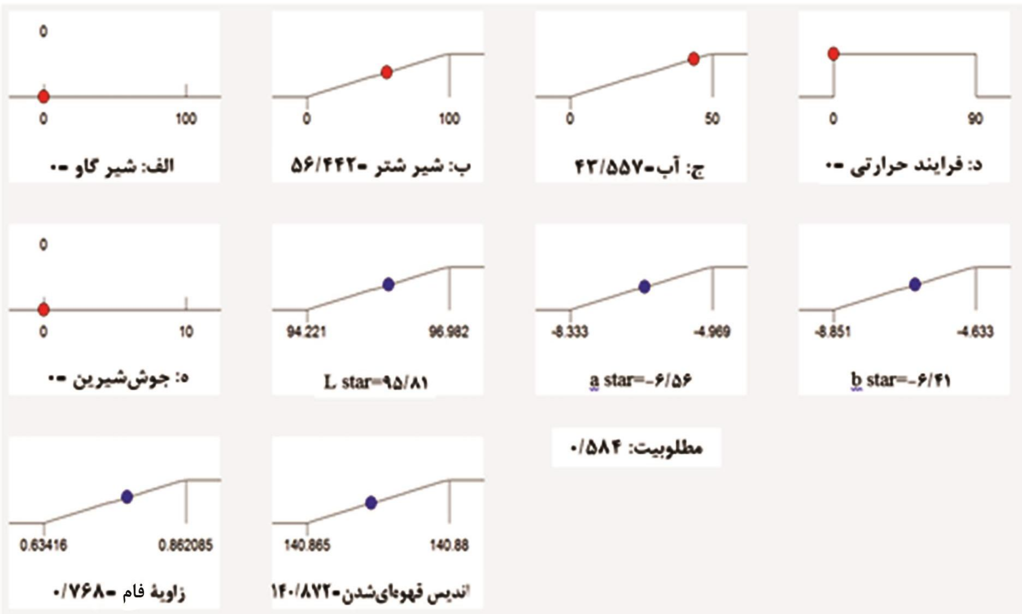
همان‌طورکه بیان شد به‌منظور تشخیص تقلب شیر گاو به شیر شتر درصورتی‌که مخلوط این دو را حرارت دهیم با اندازه‌گیری اندیس قهوه‌ای‌شدن می‌توان به تقلب مربوطه پی‌برد. لذا با استفاده از مدل‌هایی که برای هر پاسخ به‌دست‌آمده است، مثال‌هایی از مقادیر بهینهٔ متغیرهای مستقل (X) توسط نرم‌افزار Design Expert ارائه شد.

درصورتی‌که در این تحقیق میزان آب نمونه و جوش‌شیرین صفر و میزان شیر گاو حداکثر درنظرگرفته شود نقاط بهینهٔ فرایند با رضایت‌مندی ۰/۵۵ باتوجه‌به صفات یادشده شامل میزان شیر گاو ۴۳/۲۵ درصد، شیر شتر ۵۶/۷۵ درصد و فرایند حرارتی ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد است که چنین فرایندی دارای اندیس قهوه‌ای‌شدن ۱۴۰ خواهد بود و درصورتی‌که شیر گاو ۵۰ درصد درنظرگرفته شود میزان مطلوبیت کاهش‌یافته و ۰/۵۰ خواهد بود (شکل ۶). به‌این‌معنی که اگر در شیر شتر فقط تقلب افزودن شیر گاو تا حدود ۴۳/۲۵ درصد صورت بپذیرد با استفاده از یک فرایند حرارتی ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد و تعیین اندیس قهوه‌ای‌شدن و مقایسهٔ آن با نمونهٔ شاهد قابل تشخیص خواهد بود.

به‌منظور تشخیص تقلب آب به شیر شتر نیز بیان شد درصورتی‌که مخلوط را حرارت داده و به آن معرف نیز اضافه شود تقلب موجود ازطریق اندازه‌گیری (L*، a*، b*، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) قابل کشف می‌باشد.

شکل ۶ – شماتیک مقادیر بهینهٔ عوامل، پاسخ‌ها، و سطوح (نمونه‌های فاقد معرف)

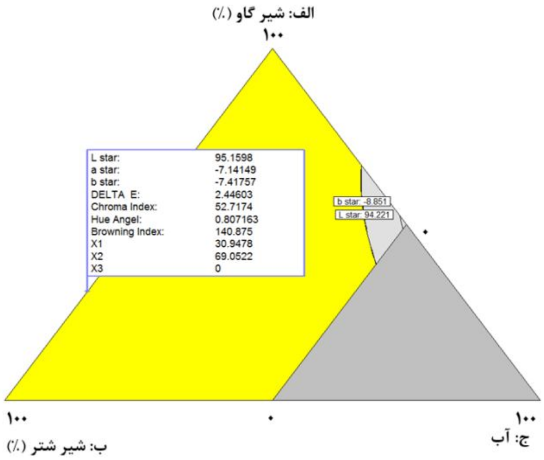
لذا درصورتی‌که در الگوریتم بهینه‌سازی نرم‌افزار در مورد نمونه‌های حاوی معرف میزان شیر گاو و جوش‌شیرین نمونه صفر و میزان آب حداکثر درنظرگرفته شود نقاط بهینهٔ فرایند با رضایت‌مندی ۰/۵۸ باتوجه‌به صفات یادشده شامل میزان آب ۴۵/۵۵ درصد، شیر شتر ۴۶/۴۴ درصد و فرایند حرارتی صفر درجهٔ سانتی‌گراد است که چنین فرایندی دارای L^* ۹۵/۸۱، a^* ‎-۶/۵۶، b^* ‎-۶/۴۱، زاویهٔ فام ۰/۷۶ و اندیس قهوه‌ای‌شدن ۱۴۰/۸۷ خواهد بود و درصورتی‌که آب نمونه بالاتر درنظرگرفته شود میزان مطلوبیت کاهش می‌یابد (شکل ۷). به‌این‌معنی که اگر به شیر شتر آب تا حدود ۴۵ درصد افزوده گردد با تعیین L^*، a^*، b^*، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن و مقایسهٔ آن با نمونهٔ شاهد قابل تشخیص خواهد بود.



شکل ۷ – شماتیک مقادیر بهینهٔ عوامل، پاسخ‌ها و سطوح (نمونه‌های حاوی معرف)

به‌منظور تشخیص تقلب هم‌زمان جوش‌شیرین و شیر گاو به شیر شتر نیز به طریق مشابه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی نرم‌افزار بهینه‌سازی صورت پذیرفت. در مورد نمونه‌های حاوی معرف درصورتی‌که میزان آب نمونه صفر و میزان جوش‌شیرین و شیر گاو حداکثر درنظرگرفته شود نقاط بهینهٔ فرایند با

رضایت‌مندی ۰/۵۲ باتوجه‌به صفات یادشده شامل میزان جوش‌شیرین ۱۰ میلی‌گرم، شیر گاو ۳۰/۹۴ درصد، شیر شتر ۶۹/۰۵ درصد و فرایند حرارتی ۸۹ درجهٔ سانتی‌گراد است که چنین فرایندی دارای *L ۹۵/۱۵، *a ‎-۷/۱۴، *b ‎-۷/۴۱، زاویهٔ فام ۰/۸۰ و اندیس قهوه‌ای‌شدن ۱۴۰/۸۷ خواهد بود (شکل ۸). لذا اگر به شیر شتر هم‌زمان جوش‌شیرین و شیر گاو تا حدود ۳/۵ میلی‌گرم و ۱۸ درصد افزوده گردد با استفاده از یک فرایند حرارتی ملایم و تعیین (*L، *a، *b، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) و مقایسهٔ آن با نمونهٔ شاهد قابل تشخیص خواهد بود.



شکل ۸ - دامنهٔ بهینهٔ اجزای طرح مخلوط

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به اثرات معنی‌دار بیان‌شده می‌توان نتیجه‌گرفت که جهت تشخیص تقلب شیر گاو به شیر شتر درصورتی‌که مخلوط این دو را حرارت دهیم با اندازه‌گیری اندیس قهوه‌ای‌شدن می‌توان به تقلب مربوطه پی‌برد. به‌طوری‌که اگر در شیر شتر فقط تقلب افزودن شیر گاو تا حدود ۴۳/۲۵ درصد صورت پذیرد با استفاده از یک فرایند حرارتی ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد و تعیین اندیس قهوه‌ای‌شدن و مقایسهٔ آن با نمونهٔ شاهد قابل تشخیص خواهد بود و درصورتی‌که در این روش از معرف نیز استفاده شود، علاوه‌بر اندیس قهوه‌ای‌شدن از متغیرهای (*L، *a، *b، و زاویهٔ فام) نیز می‌توان استفاده نمود. افزودن دو تقلب هم‌زمان شیر گاو و آب نیز ازطریق اندازه‌گیری (*L، *a، *b، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) قابل کشف می‌باشد. همچنین درصورتی‌که تقلب افزودن آب به شیر شتر صورت پذیرد، می‌توان با افزودن معرف به نمونه و اندازه‌گیری متغیرهای (*L، *b و زاویهٔ فام) تقلب مربوطه را کشف کرد به‌طوری‌که اگر به شیر شتر، آب تا حدود ۴۵ درصد افزوده گردد با تعیین *L، *a، *b، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن و مقایسهٔ آن با نمونهٔ شاهد قابل تشخیص خواهد بود.

همچنین به‌منظور تشخیص استفادهٔ جوش‌شیرین به شیر شتر نیز می‌توان ازطریق اندازه‌گیری متغیرهای (*L، *a، *b، ΔE، شاخص کروما، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) اقدام نمود. لذا اگر به شیر شتر هم‌زمان جوش‌شیرین و شیر گاو تا حدود ۳/۵ میلی‌گرم و ۱۸ درصد افزوده گردد با استفاده از یک فرایند حرارتی ملایم و تعیین (*L، *a، *b، زاویهٔ فام و اندیس قهوه‌ای‌شدن) و مقایسهٔ آن با نمونهٔ شاهد قابل شناسایی خواهد بود.

منابع

۱- بهارلوئی، ر.، ملکی ، ع.، قاسمی ورنامخواستی، م.، قنبریان، د. و بنیادیان، م. ۱۳۹۳. تعیین میزان تازگی شیر فرادما با تعیین شاخص‌های رنگی *L* a* b توسط پردازش تصویر. فصلنامه علوم و فناوری‌های نوین غذایی، ۶: ۱۱۳-۱۰۵.

۲- بهشتی مقدم، ل. ۱۳۹۰. امکان‌سنجی تعیین چربی شیر با استفاده از ماشین بینایی. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۳- یعقوبی‌سوره، الف.، علیزاده خالدآباد، م. و رضازادباری، م. ۱۳۹۲.کاربرد پردازش تصویر برای تعیین شاخص‌های رنگی *L*a*b در سنجش رنگ غذاها. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۳(۳): ۴۲۲-۴۱۱.

4- Borin, A., Ferrão, M.F., Mello, C., Cordi, L., Pataca, L.C., Durán, N., & Poppi, R.J. 2007. Quantification of lactobacillus in fermented milk by multivariate image analysis with least-squares support-vector machines. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 387(3):1105-1112.

5- Cais-Sokolińska, D., Pikul, J., & Danków, R. 2004. Measurement of color parameters as an index of the hydroxyl methyl furfural content in the UHT sterilised milk during its storage. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 7(2):#03. Available Online: http://www.ejpau.media.pl/volume 7/issue2/food/art-03.html.

6- Dadali, G., Demirhan, E., & Özbek, B. 2007. Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. Drying Technology, 25(10):1713-1723.

7- Dmytrów, I., Mituniewicz-Małek, A., & Balejko, J. 2010. Assessment of selected physicochemical parameters of uht sterilized goat's milk. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 13(2):#09. Available Online: http://www.ejpau.media.pl/volume13/issue2/art-09.html.

8- Doan, F.J. 1924. The Color of Cow's Milk and its Value. Journal of Dairy Science Research-Article, 7(2):147-153.

9- El-Agamy E.I., & Nawar, N. 2000. Nutritive and immunological values of camel milk: A comparative study with milk of other species. In: Proc. 2nd International Camelid Conference, Agroecons, Camelid Farm, Almaty, Kazakhstan.

10- Fox, P.F., & McSweeney, P.L.H. 2003. Advanced Dairy Chemistry-1 Proteins, 3rd ed., Kluwer Academic/Plenum. New York.

11- Huang, Z.K., Hou, L.Y., & Li, Z.H. 2013. Image Clustering Using Graph Cuts in LAB Color Space. International Journal Digital Content Technology and its Applications, 7(12):1-7.

12- Jackman, P., Sun, D.W., Du, C.J., Allen, P., & Downey, G. 2008. Prediction of beef eating quality from colour, marbling and wavelet texture features. Meat Science, 80(4):1273-1281.

13- Popov-Raljić, J.V., Lakić, N.S., Laličić-Petronijević, J.G., Barac, M.B., & Sikimic, V.M. 2008. Color changes of uht milk during storage. Sensors, 8(9):5961-5974.

14- Mery, D., & Pedreschi, F. 2005. Segmentation of colour food images using a robust algorithm, Journal of Food Engineering, 66(3):353-360.

15- Masawat, P., Harfield, A., & Anan, N. 2015. An iPhone-based digital image colorimeter for detecting tetracycline in milk. Food Chemistry, 184:23-29.

16- Rhim, J.W., Jones, V.A., & Swartzel, K.R. 1988. Kinetics studies in the colour changes of skim milk. Lebensmittel-Wissenschaft Technologie 21(6):334-338.

17- Santos, P.M., & Pereira-Filho, E.R. 2013. Digital image analysis-an alternative tool for monitoring milk authenticity. Analytical Methods. 5:3669-3674.

18- Santos, P.M., Wentzell, P.D., & Pereira-Filho, E.R. 2012. Scanner digital images combined with color parameters: a case study to detect adulterations in liquid cow's milk. Food Analytical Methods. 5(1):89-95.

19- Kucheryavskiy, S., Melenteva, A., & Bogomolov, A. 2014. Determination of fat and total protein content in milk using Conventional digital imaging. Talanta, 121:144-152.

20- Sullivan, K., Kloess, J., Qian, C., Bell, D., Hay, A., Lin, Y.P., & GU, Y. 2012. High throughput virus plaque quantitation using a flatbed scanner. Journal of Virological Methods, 179(1):81-89.

Detecting Adulteration in Camel Milk Using Color Change Modeling by Image Processing and Mixture-process Variable Experiments

Morteza Kashaninejad[1], Mohebbat Mohebbi[2*]

1- PhD Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
* Corresponding author (mohebbatm@gmail.com)

Abstract

Nowadays, food ingredient fraud and economically motivated adulteration are emerging risks, being addition of low cost ingredients creates not only an economical problem but also a health risk for consumers. Due to the limitations of camel milk production and high economic value that has traditionally been done in the fraud. Therefore, rapid analysis methods has gained increased interested for analytical chemistry applications due the simplicity, low-cost, speed and a performance that is similar to those instruments normally found in the laboratory. The aim of this study was to detect fraud, adding water, caustic soda to camel milk with thermal process, color detector and color parameter modeling (L*, a*, b*, ΔE, chroma Index, shade angel and browning index) using mixture-process experiments. Due to the significant effects mentioned it can be concluded that to detect of adding cow milk to camel milk can be used heating a mixture and browning index. adding cow milk and water to camel milk can be detect by L*, a*, b*, ΔE, shade angel and browning index also adding caustic soda to camel milk can be detect by L*, a*, b*, ΔE, Chroma index, shade angel and browning index.

Keywords: Adulteration, Camel Milk, Color Parameter, Mixture-Process Experiments

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۷، جلد ۷، شماره ۱، صفحات ۱۱۸-۱۰۵
JRIFST
مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

بررسی اثر جایگزینی شکر با پودر استویا و صمغ کتیرا بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی نکتار زردآلو

انسیه عسگری[1]، محمد گلی[2]*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
* نویسندهٔ مسئول (mgolifood@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴

واژه‌های کلیدی
ارزیابی حسی
استویا
کتیرا
گرانروی
نکتار زردآلو

چکیده

آگاهی مردم از اینکه تغذیهٔ مناسب می‌تواند در سلامتی افراد مؤثر باشد، موجب شد تا تولیدکنندگان مواد غذایی محصولات با چربی، شکر و نمک کم و فیبر بالا تولید نمایند. یکی از این رژیم‌های خاص، تولید غذاهای کم‌کالری با میزان شکر کمتر است. در این مطالعه جایگزینی شکر با استویا (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و به‌کارگیری صمغ کتیرا (۰/۵ درصد) در نکتار زردآلو و تولید محصولی با کالری پایین‌تر انجام شد. اندازه‌گیری اسیدیته، pH، مواد جامد کل، دانسیته، قند کل، اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH)، فنل کل، گرانروی، روشنایی و ارزیابی حسی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن استویا تغییری در اسیدیته و pH ایجاد نمی‌کند، اما باعث کاهش مواد جامد کل و دانسیته می‌گردد. قند کل و گرانروی نیز با افزایش استویا کاهش یافت. خواص آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها با افزودن استویا افزایش و در تمامی این حالات، افزودن کتیرا به نمونه‌ها تا حدودی باعث بهبود خواص فوق گردید. رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها از قانون توان با ضریب تبیین بالای ۹۹ درصد تبعیت کرد و با افزودن صمغ کتیرا، ضریب قوام افزایش یافت. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که با جایگزینی ۱۰۰ درصد استویا، نمونه‌ها دارای پذیرش کمتری نسبت به نمونه‌های دیگر هستند که احتمالاً به‌دلیل پس طعم تلخ ناشی از استویاست که می‌توان با افزودن صمغ کتیرا آن را تا حدودی پوشاند. در مجموع، نتایج بالا نشان داد که با استفاده از استویا همراه با صمغ کتیرا می‌توان به تولید محصولی با میزان کالری کمتر برای مصرف‌کنندگان دست یافت.

مقدمه

رژیم‌های غذایی پرکالری به‌همراه عدم فعالیت فیزیکی کافی می‌تواند منجربه‌افزایش وزن شده که درنهایت باعث بروز بیماری‌هایی همچون چاقی، بیماری‌های قلبی و عروقی، فشارخون، دیابت غیروابسته به انسولین و غیره می‌گردد. از اینکه تغذیهٔ مناسب می‌تواند در سلامتی افراد مؤثر باشد، موجب‌شده تا امروزه تولیدکنندگان مواد غذایی، محصولاتی با چربی، شکر و نمک کم و فیبر بیشتر تولید نمایند که این رژیم‌های غذایی می‌تواند از بروز برخی از بیماری‌ها جلوگیری کند (Louis *et al.*, 2007). همان‌طورکه گفته شد یکی از این رژیم‌های خاص، تولید غذاهای کم‌کالری با میزان شکر کمتر است که در این رابطه ترکیبات شیرین‌کنندهٔ متنوعی به‌عنوان جایگزین شکر مطرح شده‌اند تا محصولات غذایی و نوشیدنی‌های متنوعی تولید گردند که در آنها میزان شکر دریافتی و

کالری تولیدشده در بدن انسان کاهش یابد و این محصولات برای افراد چاق و دیابتی مناسب باشد (Nabors *et al.*, 2003).

نکتار میوه‌های مختلف همچون پرتقال، هلو و زردآلو دارای طعم، مزه و بافت منحصربه‌فرد بوده و دارای مواد فعال بیولوژیکی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی ویژه هستند. به‌علاوه، یکی از محصولات پرمصرف در بین همهٔ گروه‌های سنی محسوب می‌شوند. برای کاهش کالری و قند موجود در این فراورده‌ها می‌توان از شیرین‌کننده‌های مصنوعی مانند استویا[1] در فرمولاسیون آنها استفاده نمود. نکتار زردآلو فراورده‌ای است تخمیرنشده؛ ولی قابل تخمیر که از اختلاط آب‌میوهٔ سالم، یا از رقیق‌شدن آب‌میوهٔ تغلیظ‌شده (کنسانتره) و یا پورهٔ میوهٔ زردآلو با آب آشامیدنی تا رسیدن به غلظت مطلوب با و یا بدون قسمت‌های خوراکی میوه مانند گوشت میوه، پرک میوه، تکه‌های میوه، پورهٔ میوه، با و یا بدون شیرین‌کنندهٔ طبیعی مجاز و افزودنی‌های خوراکی مجاز به‌دست می‌آید و به روش‌های فیزیکی نگهداری و بسته‌بندی می‌شوند (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۹).

یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای کنترل دیابت، استفاده از رژیم غذایی کم‌کالری و بدون قند می‌باشد. شیرین‌کننده‌های غیرمغذی و مصنوعی مانند استویا، انتخاب مناسبی برای بیماران دیابتی هستند تا دریافت قند آنها بیشتر از مقدار مجاز نشود (Badawi *et al.*, 2005). استویا گیاهی علفی و حساس به سرما می‌باشد. چهار نوع گلوکوزید استوبول[2] اصلی در استویا شناسایی‌شده است که عبارتند از: ریبادیوزید A[3]، استویوزید[4]، ریبادیوزید C[5] و دالکوزید A[6] به‌طوری‌که ریبادیوزید A (با قدرت شیرین‌کنندگی معادل ۲۰۰-۱۵۰ برابر شکر) بهترین کیفیت شیرینی را در میان انواع دیگر داراست. این شیرین‌کننده در pH ۳ الی ۹ و در برابر دماهای بالا (۱۰۰ درجهٔ سلسیوس) پایدار است، تخمیر نمی‌شود و رنگ آن در اثر پخت تغییر نمی‌کند. به‌همین‌دلیل استویا به‌ویژه بخش استویوزید آن کاربردهای وسیعی در فراورده‌های خوراکی داشته و می‌تواند به‌عنوان منبع شیرینی در محصولاتی همچون محصولات قنادی و نانوایی، آب‌میوه، مربا، شکلات، بیسکویت و دیگر مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد (Yadav *et al.*, 2011). پلی‌فنل‌هایی چون فلاونوئیدها، کاتچین‌ها و آنتوسیانین‌ها، مهم‌ترین ترکیبات با خاصیت آنتی‌اکسیدانی استویا می‌باشد. به‌طوری‌که ۲/۵ درصد از وزن خشک برگ‌های استویا ترکیبات فنلی به‌ویژه فلاونوئیدها (با خاصیت مهار رادیکال آزاد) می‌باشد (Iacopini *et al.,* 2008).

صمغ کتیرا (تراگاکانت) هیدروکلوئید طبیعی و بومی ایران است که از بوتهٔ گیاه *آستراگالوس*[7] گرفته می‌شود. صمغ کتیرا یک پلی‌ساکارید آنیونی، هتروژن و شاخه‌دار است که کاربردهای وسیعی در صنایع غذایی به‌عنوان پایدارکننده، قوام‌دهنده و امولسیفایر دارد (Aziznia *et al.*, 2008). توانایی صمغ کتیرا در تغییر شدید رئولوژی محیط‌هایی که در آن حضور دارد، حتی در غلظت‌های نسبتاً کم‌صمغ، مهم‌ترین فاکتور در ارزیابی آن بوده و به‌عنوان معیاری از کیفیت آن و همچنین توجیهی بر رفتارش به‌عنوان یک عامل سوسپانسیون‌کننده، پایدارکننده و امولسیفایر می‌باشد (Balaghi *et al.*, 2010). باتوجه‌به حذف شکر از فرمولاسیون محصول، قوام نکتار زردآلو کاهش می‌یابد. لذا، از صمغ کتیرا (با مزایای ایجاد گرانروی بالا در غلظت مصرفی کم، نقش امولسیون‌کنندگی، تعلیق ذرات، پایداری در برابر حرارت و اسیدیته، افزایش‌دهندهٔ عمر نگهداری محصول) به‌منظور کنترل و بهبود قوام محصول نهایی، استفاده شد.

تحقیق‌های زیادی درخصوص استفاده از شیرین‌کنندهٔ استویا در محصولات غذایی مختلف به‌عنوان جایگزین شکر انجام شده است. Badawi و همکاران (۲۰۰۵) از استویا به‌عنوان یک شیرین‌کنندهٔ کم‌کالری در نوشیدنی شیری استفاده کردند و اثر حفاظتی آن را بر استرس‌های اکسیداتیو در موش‌های دیابتی مورد بررسی قرار دادند. این محققین گزارش نمودند که استویا برای استفاده در محصولات لبنی

[1] Stevia
[2] Glucoside Steviol
[3] Rebaudioside-A
[4] Stevioside
[5] Rebaudioside-C
[6] Dulcoside-A
[7] Astragalus

ایمن بوده و اثرات حفاظتی نیز بر استرس‌های اکسیداتیوی، گلوکز خون، گلوتاتیون خون و گلبول قرمز دارد (Badawi *et al.*, 2005). شوریده و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر کاربرد اینولین و استویا به‌عنوان جایگزین ساکارُز بر بعضی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و حسی شکلات تیره را بررسی نمودند. یوسفی اصلی و همکاران (۱۳۹۱) به بهینه‌سازی تولید مربای کم‌کالری بِه با استفاده از شیرین‌کنندهٔ استویا پرداختند. نتایج نشان داد که با استفاده از پودر استویا تولید مربای کم‌کالری امکان‌پذیر است به‌طوری‌که می‌توان میزان شکر را به ۵۰ درصد میزان معمول آن تقلیل داد بدون آنکه خصوصیات ارگانولپتیکی محصول تغییر یابد.

باتوجه‌به اینکه تاکنون هیچ پژوهشی به‌طور مشخص و تخصصی روی استفاده از شیرین‌کنندهٔ استویا، به‌عنوان جایگزین شکر در محصول نکتار زردآلو انجام نگرفته، در مطالعهٔ حاضر سعی بر این است که با استفاده از استویا، میزان شکر در فرمولاسیون نکتار زردآلو کاهش یابد و از صمغ کتیرا به‌عنوان اصلاح‌کنندهٔ خصوصیات رئولوژیکی نکتار زردآلو استفاده شود. درنهایت، اثر این جایگزینی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی محصول نهایی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

کلیهٔ مواد شیمیایی مصرفی با خلوص آزمایشگاهی بالا شامل هیدروکسید سدیم، فرمالدئید، استات سرب، فروسیانور پتاسیم، دی‌پتاسیم اگزالات، فنل فتالئین، فولین سیوکالتو، اسیدکلریدریک، متیلن‌بلو، اتانل، سولفات مس، کربنات سدیم و تارتارات مضاعف سدیم و پتاسیم از شرکت مرک و اسیدگالیک و DPPH از شرکت سیگما-آلدریچ تهیه شدند. پودر استویا از شرکت یگانه‌شیرین الوند خریداری شد و مقدار استویوزید در پودر آن ۹۵/۰۳ درصد بود.

تهیهٔ نکتارهای زردآلو

ابتدا تمام مواد فرمولاسیون با هم در یک مخزن دارای هم‌زن مخلوط‌شده و ۲ دقیقه هم‌زده شدند. سپس در قوطی‌های فلزی توسط دستگاه پرکن، پرشده و درب‌بندی گردید. این تذکر لازم است که نکتار تولیدی به‌صورت سرد در داخل قوطی پر و بسته‌بندی شد. بعد از این مرحله، بلافاصله قوطی‌های تولیدی در اتوکلاو و در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه پاستوریزه گردیدند. بعد از این مرحله، بلافاصله با آب سرد تا دمای ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد سرد و در اتاق تحت کنترل، انبار و نگهداری شدند. در ادامه، در جدول (۱) فرمولاسیون‌های تولیدی گزارش شده است.

جدول ۱- فرمولاسیون نکتار زردآلو مورد استفاده در این پژوهش

محتویات	استاندارد					
	میزان جایگزینی شکر با استویا (بدون کتیرا)			میزان جایگزینی شکر با استویا (۰/۵ درصد کتیرا)		
	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰
کد نمونه	E0T0	E50T0	E100T0	E0T0.5	E50T0.5	E100T0.5
پورهٔ زردآلو	۱۳/۴۰	۱۳/۴۰	۱۳/۴۰	۱۳/۴۰	۱۳/۴۰	۱۳/۴۰
اسیدسیتریک	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰
اسانس خوراکی	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
شکر سفید	۸/۶۷	۴/۳۴	۰	۸/۶۷	۴/۳۴	۰
استویا	۰	۰/۰۳	۰/۰۶	۰	۰/۰۳	۰/۰۶
آب	۷۷/۶۸	۸۱/۹۸	۸۶/۲۹	۷۷/۱۸	۸۱/۴۸	۸۵/۷۹
کتیرا	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۵	۰/۵

اندازه‌گیری اسیدیته

برای اندازه‌گیری اسیدیته از روش تیتراسیون (اسید غالب اسیدسیتریک) استفاده شد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۶).

اندازه‌گیری pH

pH نمونه‌های تولیدی توسط pHمتر دیجیتالی (Knick، ساخت آلمان) و در دمای اتاق (۱±۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۶).

اندازه‌گیری مواد جامد کل

مواد جامد کل به روش حرارت‌دهی در آون خلأ (فن آزما گستر، ساخت ایران) ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد تحت فشار کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر جیوه انجام شد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۶).

اندازه‌گیری دانسیته

دانسیتهٔ نمونه‌ها مطابق استاندارد شماره ۲۶۸۵ و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری دانسیته (مدل DMA 46، AP-PAAR، ساخت آلمان) انجام شد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۶).

اندازه‌گیری قند کل

قند کل به روش فهلینگ[1] اندازه‌گیری شد. ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر نمونه (نکتار زردآلو) در بالن ۱۰۰ ریخته سپس ۲ میلی‌لیتر استات روی و ۲ میلی‌لیتر فروسیانور پتاسیم به نمونه اضافه شد و با آب‌مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ۱۵ تا ۲۰ دقیقه آن را ثابت گذاشته و بعد آن صاف شد. برای انجام آزمایش ابتدا محلول صاف‌شده را داخل بورت ریخته، سپس در داخل ارلن ۵ میلی‌لیتر فهلینگ A و ۵ میلی‌لیتر فهلینگ B ریخته و آن را روی هیتر که در زیر بورت قرار دارد، گذاشته شد. پس از اینکه محلول کمی گرم شد ۱۵ میلی‌لیتر از محلول داخل بورت به‌طور مستقیم و یک مرتبه به داخل ارلن ریخته شد و محلول در عرض ۱۵ ثانیه به جوش آمد. پس از به جوش‌آمدن محلول، با استفاده از محلول قندی داخل بورت تیتراسیون انجام شد تا محلول‌های فهلینگ کاملاً توسط قند موجود در نمونه احیاء شود و پس از ایجاد رنگ و رسوب آجری‌رنگ به‌علت تشخیص دقیق احیاءشدن محلول‌های فهلینگ، ۱ قطره متیلن‌بلو به آن اضافه شد. درصورت بروز رنگ آبی تیتراسیون تا از بین رفتن رنگ آبی، ادامه یافت و باتوجه‌به حجم مصرفی محلول قندی و مقدار حجم برداشته‌شده از فهلینگ A و B و استفاده از جدول لین‌آنیون درصد قند نمونه را محاسبه کرد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۶).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های نکتار از دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازیل (DPPH[2]) استفاده شد. ابتدا با حل‌کردن مقدار مناسب از DPPH در متانول، محلول اصلی این ماده با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد. سپس جذب غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر از DPPH با استفاده از اسپکتروفتومتر در ۵۱۵ نانومتر خوانده شد و منحنی استاندارد آن رسم گردید. در ادامه رقت‌های مختلف از نمونه ساخته شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه با رقت‌های مختلف با ۳/۹ میلی‌لیتر از محلول مادر DPPH مخلوط گردید و به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شدند و در ادامه جذب آنها در ۵۱۵ نانومتر ثبت گردید. برای نمونهٔ شاهد نیز از ۰/۱ میلی‌لیتر متانول به‌جای نمونهٔ نکتار استفاده گردید. درنهایت IC_{50} هریک از نمونه‌ها تعیین شده و گزارش گردید. دراین‌حالت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌صورت IC_{50} مطرح شد، که عبارت است از مقدار نمونه‌ای که باعث کاهش ۵۰ درصدی در میزان جذب خواهد شد. بنابراین می‌توان گفت هرچه میزان این شاخص کمتر باشد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر است (Poojary *et al.*, 2015).

اندازه‌گیری فنل کل

مقادیر فنل کل در نمونه‌های نکتار به روش فولین سیوکالتو[3] اندازه‌گیری گردید. ابتدا، ۰/۵ میلی‌لیتر از نمونهٔ استخراج‌شده با متانول را با ۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو (۱ به ۱۰ رقیق‌شده با آب) مخلوط نموده، سپس ۴ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۱ مولار اضافه گردید. بعد از ۳۰ دقیقه نگهداری در مکان تاریک و

[1] Fehling's Test

[2] diphenyl-picrylhydrazyl

[3] Folin-Ciocalteu´s Test

دمای محیط آزمایشگاه، جذب نوری آن توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد. برای ساخت نمونهٔ شاهد نیز به‌جای نمونه، متانول که حلال است، ریخته‌شده و با آن اسپکتروفتومتر، صفر گردید. مقادیر فنل کل در نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد اسیدگالیک برحسب میلی‌گرم اسیدگالیک در هر لیتر نمونه بیان گردید. (Kukula-Koch *et al.*, 2013).

خصوصیات رئولوژیکی

اندازه‌گیری گرانروی ظاهری و بررسی رفتار جریان با ویسکومتر چرخشی بروکفیلد[1] (مدل اولترا DVII، ساخت آمریکا) تعیین شد. کلیهٔ سنجش‌ها با به‌کارگیری دوک SC4-18 در محدودهٔ درجهٔ برشی $۱۰-۳۰۰ S^{-1}$ و دمای ثابت نمونه ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد به‌عمل آمد. سپس با برازش مدل قانون توان توسط نرم‌افزار سیگما پلات نسخهٔ ۷ و بررسی داده‌های تنش برشی در برابر درجهٔ برش، پارامترهای رئولوژیکی اندیس قوام و شاخص رفتار جریان تعیین شد (یوسفی اصلی و همکاران، ۱۳۹۱).

اندازه‌گیری روشنایی نمونه‌ها

روشنایی نمونه‌ها به روش دستگاهی و با استفاده از رنگ‌سنج (فن آزما گستر، ساخت ایران) اندازه‌گیری و نتایج ازنظر شاخص روشنایی L^* (مقادیر از ۰ تا ۱۰۰) بر طبق مدل رنگ Lab[2] بیان شد (Ardali *et al.*, 2014).

ارزیابی حسی

نمونه‌های نکتار زردآلو به روش امتیازبندی[3] مطابق با جدول (۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند و ویژگی‌های حسی نمونه‌ها شامل رنگ، عطروطعم بررسی شدند. امتیازدهی با مقیاس ۵ نقطه‌ای شامل بسیار بد، بد، متوسط، خوب و بسیار خوب انجام شد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۶).

جدول ۲ - فرم آزمون ویژگی‌های حسی (عطروطعم، رنگ)

عطروطعم	امتیاز	رنگ	امتیاز
بسیار خوش‌طعم	۶۷/۵	بسیار خوش‌رنگ	۳۲/۵
خوش‌طعم	۵۴	خوش‌رنگ	۲۶
متوسط	۴۰/۵	متوسط	۱۹/۵
بدطعم	۲۷	بدرنگ	۱۳
بسیار بدطعم	۱۳/۵	بسیار بدرنگ	۶/۵

طبق استاندارد، مجموع امتیازات (امتیاز عطروطعم+امتیاز رنگ) پس از پایان دورهٔ ارزیابی، باید کمینهٔ ۸۰ بر مبنای ۱۰۰ باشد، درغیراین‌صورت ویژگی‌های حسی فراورده، غیرقابل‌قبول است.

تجزیه‌وتحلیل آماری

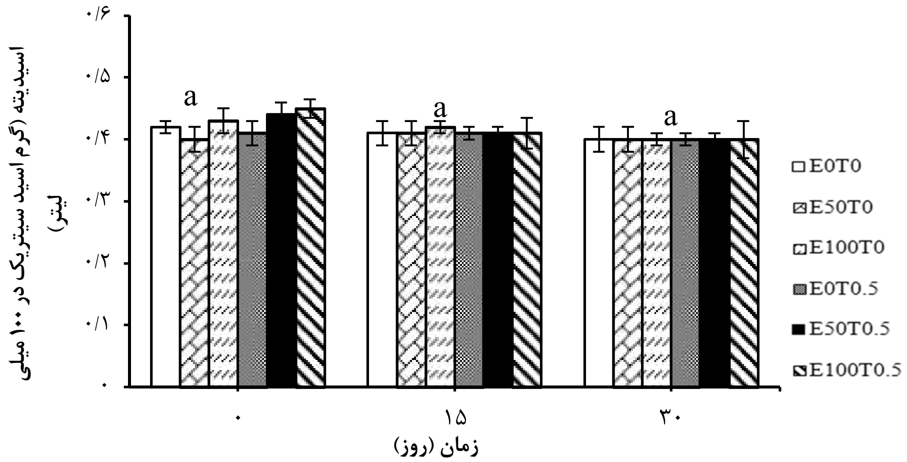
این پژوهش براساس مدل آماری آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و کلیه آزمون‌ها در ۳ تکرار انجام شدند. فاکتور A شامل ۳ سطح شیرین‌کننده (۱۰۰ درصد شکر، ۵۰ درصد جایگزینی شکر با استویا، ۱۰۰ درصد جایگزینی شکر با استویا) و فاکتور B شامل دو سطح درصد کتیرا در فرمول نکتار زردآلو (۰ و ۰/۵ درصد) بود. در مجموع ۲×۳=۶ تیمار و با ۳ تکرار آزمایشی مجموعاً ۱۸ نمونه بود. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها و اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) میان میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون آماری دانکن انجام گرفت. نمودارها به کمک نرم‌افزار Microsoft Excel نسخهٔ ۲۰۱۶ رسم شد.

نتایج

اسیدیته

اسیدیته، مقدار اسیدهای آلی موجود در فراورده است که برحسب اسید غالب موجود در میوه محاسبه می‌گردد. نتایج مربوط به اسیدیتهٔ نمونه‌ها در زمان‌های صفر، ۱۵ و ۳۰ روز پس از تولید در شکل (۱) نشان داده شده است. نتایج آنالیز آماری نشان داد که اسیدیتهٔ هر نمونه طی روزهای مختلف تفاوت معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) نشان نداد. همچنین، تفاوت معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) بین نمونه‌های مختلف در یک دورهٔ زمانی یکسان هم وجود نداشت.

---
[1] Brookfield
[2] CIE Lab System
[3] Scoring



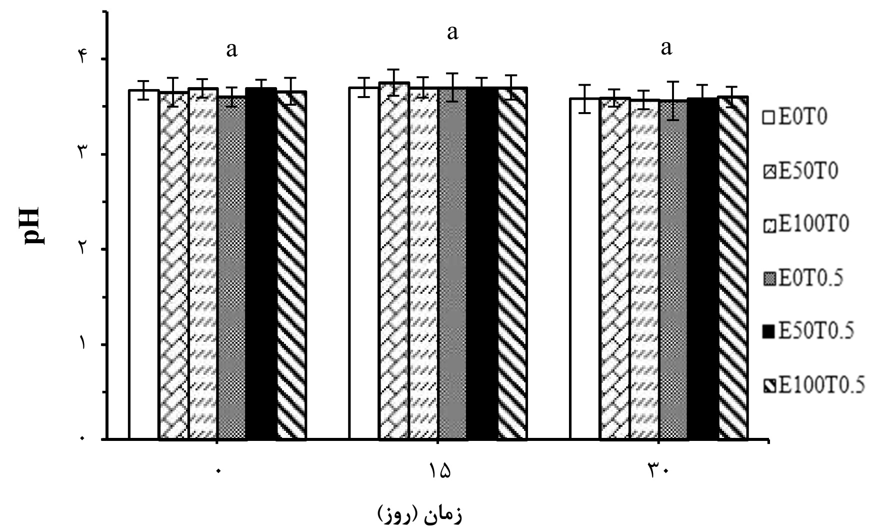
شکل ۱ - اسیدیتهٔ نمونه‌ها طی دورهٔ نگهداری

تمامی تیمارها با هم آنالیز آماری شده‌اند و حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

براساس استاندارد شمارهٔ ۲۶۱۳ اسیدیتهٔ کل نکتار زردآلو براساس اسیدسیتریک باید بین ۰/۲ تا ۰/۷ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه باشد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۹). ازآنجایی‌که قندهای استویوزیدی در مقایسه با ساکارُز قابلیت تخمیر ندارند لذا در واکنش‌های تخمیری محصول شرکت نکرده است، ازطرفی قند استویوزید یک قند غیراحیاء بوده و در واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن میلارد که نتیجهٔ آن تولید ترکیبات اسیدی است، شرکت نمی‌کند. لذا در مجموع منجربه‌افزایش اسیدیتهٔ محصول نهایی نمی‌شود (Yadav *et al.,* 2011). بنابراین نمونه‌های حاوی استویا و صمغ کتیرا، از لحاظ اسیدیته مطابق استاندارد هستند و ازآنجاکه اسیدیته یک عامل مهم در خصوصیات شیمیایی و حسی نکتار می‌باشد، پس استویا می‌تواند یک جایگزین خوب برای شکر در نکتار زردآلو بدون هیچ‌گونه تغییر در اسیدیتهٔ نمونه‌ها باشد (۰/۴۵-۰/۴۰ گرم اسیدسیتریک در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه). تحقیق‌های مشابه نشان داد که افزودن استویا به ماست با طعم توت‌فرنگی، تغییر معنی‌داری در اسیدیته ایجاد نکرده است (Lisak *et al*., 2012). باتوجه‌به نتایج می‌توان دریافت که نمونه‌های حاوی استویا و کتیرا دارای اسیدیته مطابق استاندارد بوده و با نمونه‌های حاوی شکر، تفاوت معنی‌داری ندارند.

pH

pH نمونه‌های مختلف نکتار زردآلو در زمان‌های صفر، ۱۵ و ۳۰ روز پس از تولید، در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد، فرمولاسیون‌های مختلف که دارای درصدهای مختلف استویا (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی با شکر) و کتیرا (۰ و ۰/۵ درصد) هستند، ازنظر pH، تفاوت معنی‌داری (P>۰/۰۵) نداشت (pH=۳/۵۶-۳/۷۵). براساس استاندارد شمارهٔ ۲۶۸۵، pH نکتار زردآلو باید بین ۴-۲/۸ باشد نتایج نشان داد که جایگزینی جزئی و کامل شکر با استویا در نکتار زردآلو، هیچ‌گونه تغییری در pH آن ایجاد نکرده است (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۶). نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری pH، هم‌راستا با نتایج اسیدیتهٔ نکتارها بوده است. نتایج مشابهی با گزارش به‌دست‌آمده از این تحقیق که خصوصیات فیزیکوشیمیایی، پوره‌های سیب شیرین‌شده با ۲ نوع پودر سفید و سبز استویا را مورد بررسی قرار دادند، نشان داد که pH پوره‌های مختلف با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند (Zlabur *et al.*, 2013). Ardali و همکاران (۲۰۱۴) درخصوص اثر جایگزینی شکر با استویا در سطوح مختلف بر pH نوشیدنی بر پایهٔ پرتقال نیز گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین pH نمونه‌ها وجود ندارد.

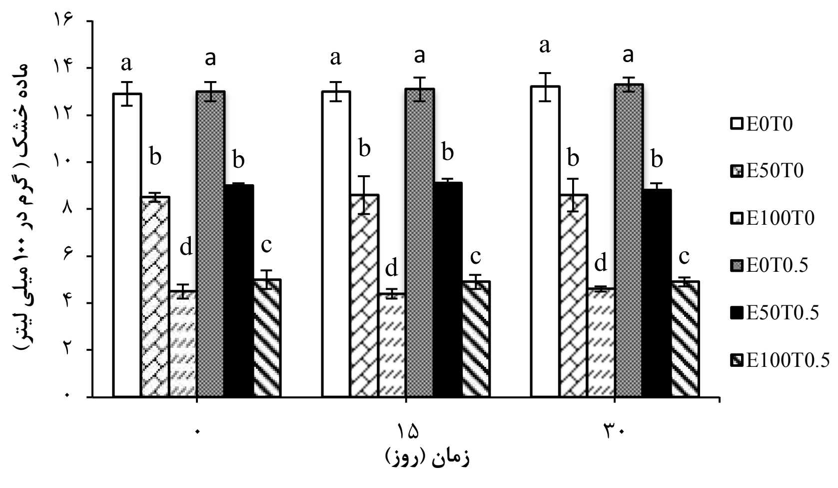


شکل ۲ – pH نمونه‌ها طی دورهٔ نگهداری

تمامی تیمارها با هم آنالیز آماری شده‌اند و حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

مادهٔ خشک کل

در شکل (۳)، مقادیر مربوط به مادهٔ خشک نمونه‌ها در روزهای صفر، ۱۵ و ۳۰ پس از نگهداری، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با کاهش شکر و افزایش استویا از مقدار مادهٔ خشک کل، کاسته‌شده که این نتایج با بریکس نکتارها در ارتباط است زیرا عامل اصلی در تعیین بریکس نوشیدنی‌ها، شکر است. اختلاف میزان مادهٔ خشک در نمونه‌های دارای صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد استویا معنی‌دار ($P<0/05$) بود. افزودن کتیرا نیز می‌تواند به مقدار کمی این کاهش را به‌دلیل وجود مادهٔ جامد موجود در ساختار خود جبران نماید. میزان مادهٔ خشک کل در نمونه‌های E0T0، E50T0 و E100T0 به‌ترتیب ۱۳/۰۳±۰/۵۰، ۸/۵۷±۰/۵۷ و ۴/۵۰±۰/۲۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر بود. این تذکر لازم است که تغییرات مادهٔ خشک کل برای هر نمونه طی دورهٔ نگهداری معنی‌دار نبود.



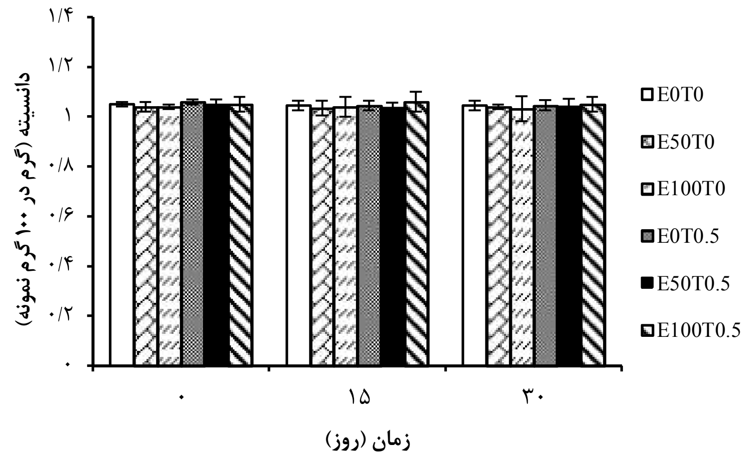
شکل ۳ – مقدار مادهٔ خشک نمونه‌ها طی دورهٔ نگهداری

تمامی تیمارها با هم آنالیز آماری شده‌اند و حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

دانسیته

دانسیتهٔ نمونه‌های مختلف نکتار زردآلو حاوی مقادیر مختلف شیرین‌کنندهٔ استویا، شکر و صمغ کتیرا در شکل (۴) آورده شده است. نتایج نشان داد که برای یک نمونهٔ خاص در روزهای مختلف، تفاوتی در دانسیتهٔ نمونه‌ها ایجاد نشده است؛ اما با افزایش درصد

استویا در فرمولاسیون نکتارها و همچنین کاهش شکر، از دانسیتهٔ نمونه‌ها به میزان خیلی کم کاسته‌شده که این تفاوت معنی‌دار (*P*>۰/۰۵) نیست. می‌توان گفت که کلیهٔ مواد جامد محلول در آب، دانسیتهٔ بیشتر از ۱ دارند، لذا کاهش آنها موجب کاهش دانسیته می‌گردد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق مشابه با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق قبلی است (Ardali *et al.*, 2014). همچنین، Vatankhah و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر جایگزینی شکر با استویا بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیسکویت گزارش نمودند که دانسیتهٔ نمونه‌های بیسکویت حاوی استویا در مقایسه با نمونهٔ شاهد، تفاوت محسوسی ندارند که این اختلاف در نتایج را می‌توان به ماهیت مواد اولیه مربوط دانست.

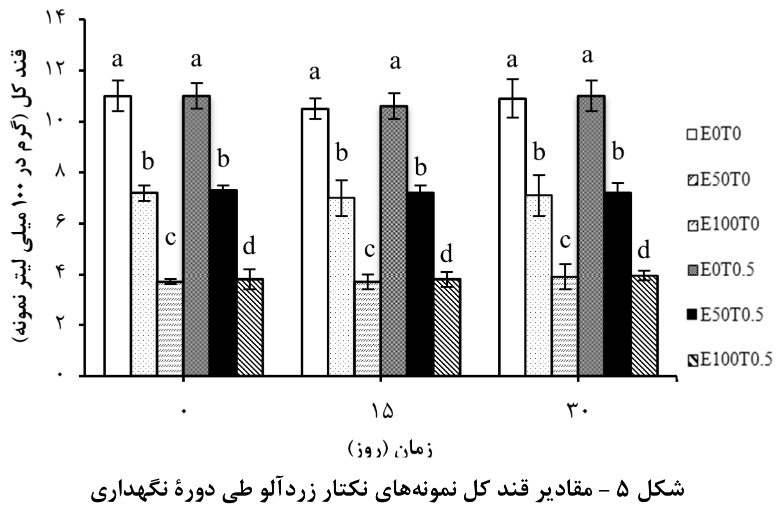


شکل ۴ - دانسیتهٔ نمونه‌های مختلف نکتار زردآلو طی دورهٔ نگهداری

تمامی تیمارها با هم آنالیز آماری شده‌اند و حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

قند کل

معروف‌ترین روش شیمیایی برای اندازه‌گیری قندها روش تیتراسیون لین و آینون[1] است. برای اندازه‌گیری قند کل، با استفاده از اسید و حرارت، دی‌ساکاریدها به قند ساده هیدرولیز می‌شوند. در شکل (۵) مقادیر قند کل در نمونه‌های نکتار زردآلو گزارش شده است که با افزایش مقدار استویا در نمونه‌ها و کاهش شکر، از مقدار قند کل کاسته‌شده است که اختلاف میان نمونه‌ها معنی‌دار (*P*<۰/۰۵) بود. با بررسی اثر گلوکز و استویا بر اندیس گلایسمی افراد عادی و بیماران دیابتی بیان کردند که استویا می‌تواند جایگزین خوبی برای افراد دیابتی باشد.



شکل ۵ - مقادیر قند کل نمونه‌های نکتار زردآلو طی دورهٔ نگهداری

تمامی تیمارها با هم آنالیز آماری شده‌اند و حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

[1] Lane & Inon

فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

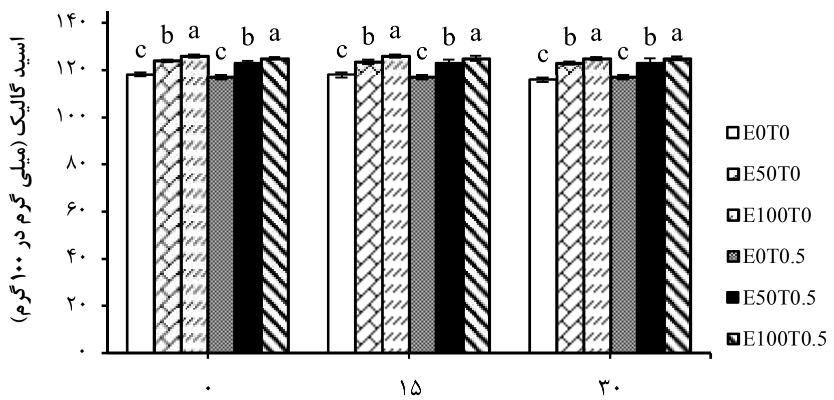
بدن انسان برای محافظت در برابر رادیکال‌های آزاد به سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی مجهز شده است. این سیستم‌ها شامل آنتی‌اکسیدان‌های تولیدی در بدن و آنتی‌اکسیدان‌های موجود در رژیم غذایی هستند. به خاطر کارایی ناقص سیستم‌های دفاعی درونی بدن و وجود برخی موقعیت‌های فیزیوپاتولوژیک (مانند کشیدن سیگار، آلودگی هوا، امواج فرابنفش، رژیم غذایی حاوی اسیدهای چرب اشباع‌نشدهٔ بالا، التهاب و غیره) که در آنها رادیکال‌های آزاد به مقدار فراوان تولید می‌شوند، آنتی‌اکسیدان‌های غذایی موردنیاز هستند تا اثرات تجمعی آسیب اکسیداتیو روی بدن را خنثی کنند. اثرات آنتی‌اکسیدانی ویتامین‌های A، C، E و ترکیبات پلی‌فنلی موجود در رژیم‌های غذایی به‌خوبی ثابت شده است (Cho *et al.*, 2007). در جدول (۳)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر مبنای قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH برای نمونه‌های نکتار زردآلو در روزهای مختلف نگهداری، آورده شده است. با افزایش درصد استویا و کتیرا، میزان IC_{50} کمتر شده است که نشان‌دهندهٔ فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر نمونه‌های حاوی استویاست. همچنین، این تذکر لازم است که در اکثر موارد فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها طی دورهٔ نگهداری کاهش معنی‌داری نداشته است. در شکل (۶)، مقادیر فنل کل برحسب میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم نمونه، برای نمونه‌ها در روزهای مختلف نگهداری، آورده شده است. براساس نتایج با افزایش میزان استویا، میزان ترکیبات فنلی افزایش یافته است، به‌نحوی‌که بالاترین میزان فنل مربوط به نمونهٔ حاوی ۱۰۰ درصد استویا و نمونهٔ حاوی ۱۰۰ درصد استویا و کتیراست. هم‌راستا با نتایج حاصل از فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مقادیر فنل کل نیز با افزایش درصد استویا و صمغ کتیرا در فرمولاسیون نمونه‌ها، افزایش یافت. درحقیقت، افزایش غلظت ترکیبات فنلی به‌طور مستقیم میزان توانایی نمونه‌ها را در مهار رادیکال‌های آزاد افزایش می‌دهد (Shahidi & Naczk, 2004). محققین گزارش کردند که فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH عصاره‌های گیاهی به غلظت ترکیبات فنولی بستگی دارد و با افزایش غلظت، اثر مهارکنندگی شدت می‌یابد. به نظر می‌رسد که ترکیبات موجود در استویا، توانایی دادن الکترون‌ها به رادیکال‌های آزاد فعال را دارند و درنتیجه واکنش زنجیره‌ای رادیکال‌های آزاد را متوقف می‌کنند. این محققین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی عصاره‌های گیاهی را با میزان بالای فنل‌ها و فلاونوئیدهای موجود در عصاره‌ها مرتبط دانسته‌اند (Lemus-Mondaca *et al.*, 2012; Shivanna *et al.*, 2013).

جدول ۳ - مقادیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی (براساس IC_{50}) نمونه‌های نکتار زردآلو در روزهای مختلف نگهداری

نمونه	IC_{50} روز صفر	روز ۱۵	روز ۳۰
E0T0	۲۵±۰/۱ ^{aA}	۲۶±۰/۵ ^{aA}	۲۵±۰/۶ ^{aA}
E50T0	۲۳±۰/۵ ^{bA}	۲۲±۰/۴ ^{bB}	۲۲±۰/۳ ^{bB}
E100T0	۲۲±۰/۱ ^{cA}	۲۲±۰/۵ ^{bA}	۲۲±۰/۱ ^{bA}
E0T0.5	۲۵±۰/۳ ^{aA}	۲۵±۰/۱ ^{aA}	۲۵±۰/۳ ^{aA}
E50T0.5	۲۳±۰/۸ ^{bA}	۲۱±۱/۵ ^{bB}	۲۳±۰/۵ ^{bA}
E100T0.5	۲۲±۰/۷ ^{cB}	۲۲±۰/۸ ^{bB}	۲۳±۰/۹ ^{bA}

حروف غیرمشابه کوچک نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن بین تیمارها در هر ستون، در سطح ۰/۰۵ است.

حروف غیرمشابه بزرگ برای هر تیمار نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن بین تیمارها در هر ردیف، در سطح ۰/۰۵ است.

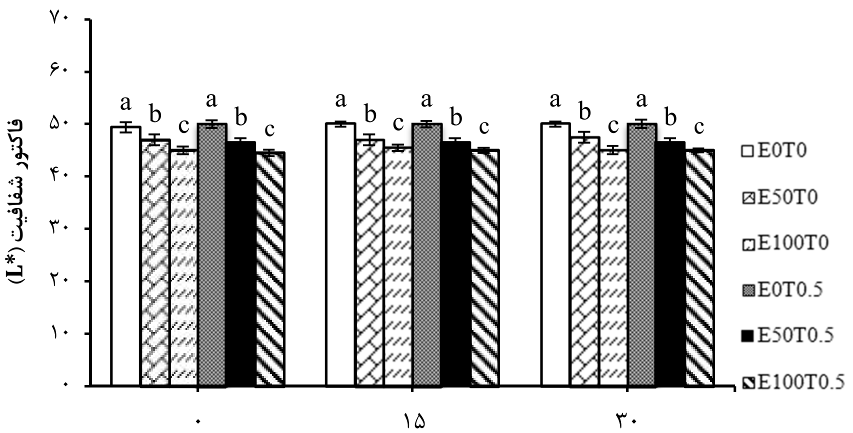


شکل ۶ – مقادیر فنل کل نمونه‌های مختلف نکتار زردآلو طی دورهٔ نگهداری

تمامی تیمارها با هم آنالیز آماری شده‌اند و حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

شفافیت نمونه‌ها

در شکل (۷)، مقادیر فاکتور شفافیت (L*)، برای نمونه‌های نکتار زردآلو در روزهای مختلف نگهداری، نشان داده شده است. با افزایش درصد جایگزینی شکر با استویا فاکتور شفافیت (L*) نمونه‌های نکتار زردآلو کاهش معنی‌داری داشت. در واقع، می‌توان گفت که کاهش شاخص رنگی یادشده در محصول به‌دلیل برهم‌کنش الکترواستاتیکی پلی‌ساکارید کتیرا با پروتئین‌ها در نواحی باردار‌بوده که باعث تفرق نور و درنهایت ایجاد تفاوت در شفافیت می‌گردد. درحقیقت، می‌توان تغییرات انجام‌شده در شفافیت نمونه‌ها را با واکنش‌های صورت‌گرفته طی فرایند حرارتی، بین ترکیبات موجود در آب‌میوه‌ها مربوط دانست. طی فرایند حرارتی پاستوریزاسیون، در نمونه‌های دارای استویوزید بیشتر با مقادیر پلی‌فنل بیشتر (مطابق با شکل ۶)، واکنش شیمیایی بین پلی‌فنل‌ها و پروتئین‌ها منجربه تولید محصولات قهوه‌ای‌شده و منجربه‌کاهش شفافیت در محصول نهایی می‌شود.



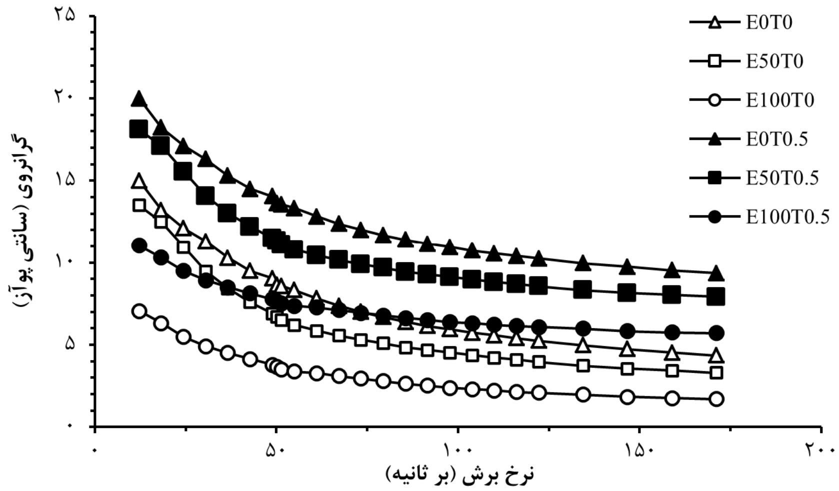
شکل ۷ – فاکتور شفافیت (L*) در نمونه‌های مختلف نکتار زردآلو طی دورهٔ نگهداری

تمامی تیمارها با هم آنالیز آماری شده‌اند و حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

گرانروی و رفتار جریانی

گرانروی نمونه‌ها با استفاده از یک ویسکومتر و در محدودهٔ نرخ برش ۱۲/۲۳ تا ۱۷۱/۲۲ بر ثانیه، تعیین شد. براساس شکل (۸) و جدول (۴) مشخص شد که با کاهش درصد شکر از مقدار گرانروی کاسته می‌شود؛ اما با افزودن کتیرا این کاهش گرانروی

جبران می‌گردد و رفتار رئولوژیکی نمونه بهبود می‌یابد. نتایج این تحقیق همسو با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعهٔ Saniah و Samsiah (۲۰۱۲) است. این محققین گزارش کردند با افزایش مقدار استویا و کاهش ساکارُز از گرانروی نمونه‌های نوشیدنی کربناته کاسته‌شده است. آنها بیان نمودند شکر در نوشیدنی‌ها تنها نقش یک شیرین‌کننده را ایفا نکرده و باعث ایجاد حس دهانی و بافتی در آنها نیز می‌شود (Saniah & Samsiah, 2012). بنابراین، به نظر می‌رسد اگر قرار است از استویا به‌عنوان شیرین‌کننده در نوشیدنی‌ها استفاده شود، بهتر است که آن را به‌همراه یک مادهٔ قوام‌دهنده مانند کربوکسی‌متیل سلولز[1] و پکتین[2] به‌کار برد تا گرانروی و غلظت نمونه‌ها در مقادیر مناسب حفظ شود تا مطلوبیت آن نزد مصرف‌کننده اُفت نکند.



شکل ۸ - نمودار تغییرات گرانروی در برابر نرخ برش برای تیمارهای مختلف نکتار زردآلو

جدول ۴ - ضریب قوام (k) و شاخص رفتار جریان (n) تیمارهای مختلف نکتار زردآلو

تیمار	ضریب قوام (میلی‌پاسکال بر ثانیه)	شاخص رفتار جریان	R^2 (درصد)
E0T0	۷۵/۶۰±۰/۴۳[b]	۰/۳۹±۰/۱۲[d]	۹۹/۷
E50T0	۶۱/۲۰±۱/۲۵[d]	۰/۵۰±۰/۰۶[b]	۹۹/۶
E100T0	۳۴/۲۳±۰/۶۵[f]	۰/۵۴±۰/۰۸[a]	۹۹/۴
E0T0.5	۸۴/۴۵±۰/۷۵[a]	۰/۳۴±۰/۱۵[e]	۹۸/۸
E50T0.5	۶۷/۹۰±۱/۲۸[c]	۰/۴۸±۰/۰۱[c]	۹۹/۷
E100T0.5	۴۰/۰۲±۰/۲۳[e]	۰/۵۱±۰/۱۸[b]	۹۹/۵

حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن بین تیمارها در هر ستون، در سطح ۰/۰۵ است.

باتوجه‌به شکل (۸)، گرانروی نمونهٔ E0T0.5 در تمامی نرخ‌های برشی، بالاتر از سایر نمونه‌ها بود؛ اما این روند برای نمونهٔ E100T0 عکس بوده و کمترین میزان را نشان داد. در جدول (۴)، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان حاصل از برازش مدل رئولوژیکی قانون توان[3] برای نمونه‌های مختلف نکتار نشان داده شده است. با افزایش مقدار استویا و کاهش شکر، ضریب قوام کاهش و شاخص رفتار جریان افزایش یافته است. نتایج اندازه‌گیری گرانروی نیز این داده‌ها را تأیید می‌کند. باتوجه‌به نتایج آزمون‌های رئولوژیکی، تمام نمونه‌ها رفتار غیرنیوتنی و شل‌شونده با برش (n<۱) داشته‌اند و با افزایش استویا در فرمولاسیون، رفتار رئولوژیکی نکتارها به‌دلیل کاهش مقدار شکر در فرمولاسیون تغییر کرده است. یافته‌های این تحقیق

[1] Carboxy methyl Cellulose
[2] Pectin
[3] Power law

هم‌راستا با یافته‌های Ardali و همکاران (۲۰۱۴) است که افزودن کتیرا باعث افزایش ضریب قوام و گرانروی نمونه‌ها شد و می‌تواند برای مصرف‌کننده مطلوب باشد.

کشتکاران و همکاران (۱۳۹۱) نیز دریافتند که تمام نمونه‌های شیرخرمای حاوی صمغ کتیرا در تمامی محدودهٔ نرخ برشی، گرانروی بیشتری نسبت به نمونهٔ بدون کتیرا داشته‌اند. به‌علاوه، ضریب قوام نیز در حضور این صمغ بالاتر بوده است. در واقع، می‌توان گفت که اصولاً پلی‌ساکاریدهای بلندزنجیر، حاوی گروه‌های آب‌دوست فراوان مانند صمغ کتیرا، با جذب مقادیر بالایی از مولکول‌های آب قابلیت افزایش گرانروی محصول را دارند. ساختار بلندزنجیرهٔ اصلی و جهت‌یافتن آن طی هم‌زدن، خود دلیلی برای وابستگی مقدار گرانروی به نرخ برش است.

ارزیابی حسی

جهت بررسی اثر افزودن استویا و صمغ کتیرا بر پذیرش کلی نمونه‌ها، آزمون‌های ارزیابی حسی توسط مصرف‌کنندگان انجام گرفت. نتایج جدول (۵) نشان داد که نمونهٔ با ۱۰۰ درصد جایگزینی دارای پذیرش کمتری نسبت به نمونه‌های دیگر است که احتمالاً به‌دلیل پس‌طعم تلخ ناشی از استویاست. بااین‌حال، افزودن کتیرا به نمونه‌ها، پذیرش آنها را افزایش داد که می‌تواند به‌دلیل ایجاد احساس دهانی بهتر ناشی از صمغ کتیرا و پوشاندن قسمتی از پس‌طعم تلخی باشد. محققین دیگری نیز وجود پس‌طعم تلخ در نوشیدنی‌های حاوی استویا را تأیید نموده و بیان کردند که استویا اگرچه می‌تواند جایگزینی برای شیرینی شکر باشد؛ اما نیاز است که پس‌طعم تلخ ناشی از آن پوشانده شود (Saniah & Samsiah, 2012). هم‌راستا با نتایج مطالعهٔ حاضر، کشتکاران و همکاران (۱۳۹۱) نیز عنوان داشتند افزودن صمغ کتیرا به نوشیدنی شیرخرما به‌دلیل افزایش گرانروی، باعث بهبود خصوصیات حسی و پذیرش کلی نمونه‌ها گردیده است.

جدول ۵ - نتایج آزمون ارزیابی حسی برای تیمارهای مختلف نکتار زردآلو

نمونه	امتیاز کلی (از ۱۰۰ نمره)
E0T0	۹۲±۱/۰[a]
E50T0	۸۶±۱/۵[b]
E100T0	۸۰±۰/۵[d]
E0T0.5	۹۱±۱/۵[a]
E50T0.5	۸۷±۰/۱[b]
E100T0.5	۸۲±۰/۵[c]

حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن بین تیمارها در هر ستون، در سطح ۰/۰۵ است.

طبق استاندارد، مجموع امتیازات (امتیاز عطروطعم+امتیاز رنگ) پس از پایان دورهٔ ارزیابی، باید کمینهٔ ۸۰ بر مبنای ۱۰۰ باشد، درغیراین‌صورت ویژگی‌های حسی فراورده، غیرقابل‌قبول است.

نتیجه‌گیری

افزودن استویا با درصدهای مختلف (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) همراه با صمغ کتیرا (۰/۵ درصد) به نکتار زردآلو، تغییر قابل ملاحظه‌ای در اسیدیته و pH آن ایجاد نکرد؛ اما مواد جامد کل، دانسیته و قند کل کاهش یافت. با افزایش درصد استویا و کاهش شکر و در حضور صمغ کتیرا، به‌دلیل پلی‌فنل‌هایی چون فلاونوئیدها، کاتچین‌ها و آنتوسیانین‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دیگر، IC_{50} نمونه‌ها کاهش یافته است.

نتایج نشان داد که با افزایش مقدار استویا و کاهش شکر، گرانروی نمونه‌های نکتار کاهش یافت؛ اما افزودن کتیرا به نمونه‌ها باعث بهبود خصوصیات رئولوژیکی گردید.

نتایج ارزیابی حسی نشان داد که با جایگزینی بیشتر شکر با استویا، به‌دلیل پس‌طعم تلخ ناشی از استویا، نمونه‌ها دارای پذیرش کمتر نسبت به نمونهٔ شاهد شدند که می‌توان با افزودن صمغ کتیرا این پس‌طعم تلخ را تا حدودی پوشاند. در مجموع، با جایگزینی شکر با استویا (با مزایایی چون: پایین‌آورندهٔ فشارخون، بدون کالری‌بودن و پایین‌آورندهٔ قندخون) و استفاده از صمغ کتیرا (پوشش‌دهندهٔ برخی از معایب استویا)، می‌توان به محصولی با ریسک کمتر برای سلامتی مصرف‌کنندگان، توأم با خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی مطلوبی دست یافت.

منابع

۱- شوریده، م.، تسلیمی، ا.، عزیزی، م. ح.، محمدی‌فر، م.ا. و مشایخ، م. ۱۳۸۹. تأثیر کاربرد دی‌تاگاتوز، اینولین و استویا به‌عنوان جایگزین ساکارز بر بعضی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و حسی شکلات تیره. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۵(۳): ۳۸-۲۹.

۲- کشتکاران، م.، محمدی‌فر. م.ا. و اسدی، غ. ۱۳۹۱. بررسی اثر دوگونه صمغ کتیرا بر برخی ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکی و حسی نوشیدنی شیرخرما. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۷(۳): ۳۱-۴۲

۳- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۸۶. آب میوه‌ها ـ روش‌های آزمون. شمارهٔ ۲۶۸۵، تجدیدنظر اول.

۴- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۸۹. نکتارهای زردآلو، آلو، گلابی، سیب و زرد آلو- ویژگی‌ها. شمارهٔ ۲۶۱۳، تجدیدنظر دوم.

۵- یوسفی اصلی، م.، گلی، ا. و کدیور، م. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی تولید مربای کم‌کالری بِه با استفاده از شیرین‌کنندهٔ مصنوعی *استویا*. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۲(۲): ۱۵۶-۱۶۴.

6- Ardali, F. R., Alipour, M., Shariati, M.A., Taheri, S., & Amiri, S. 2014. Replacing sugar by Rebaudioside A in orange drink and produce a new drink. Indian Journal of Research in Pharmacy and Biotechnology, 12:1131-1135.

7- Aziznia, S., Khosrowshahi, A., Madadlou, A., & Rahimi, J. 2008. Whey protein concentrate and gum tragacanth as fat replacers in nonfat yogurt: chemical, physical, and microstructural properties. Journal of Dairy Science, 91(7):2545-2552.

8- Badawi, A.M., El-Tablawy, N.A., Bassily, N.S., & El-Behairy, S.A. 2005. Stevioside as A low caloric sweetener to milky drink and its protective role against oxidative stress in diabetic rats. Egyptian Journal of Hospital Medicine, 20:163-176.

9- Balaghi, S., Mohammadifar, M.A., & Zargaraan, A. 2010. Physicochemical and rheological characterization of gum tragacanth exudates from six species of Iranian Astragalus. Food Biophysics, 5(1):59-71.

10- Cho, W.C.S., & Leung, K.N. 2007. In vitro and in vivo immunomodulating and immunorestorative effects of Astragalus membranaceus. Journal of Ethnopharmacology, 113(1): 132-141.

11- Iacopini, P, Baldi, M, Storchi, P., & Sebastiani, L. 2008. Catechin, epicatechin, quercetin, rutin and resveratrol in red grape: Content, in vitro antioxidant activity and interactions. Journal of Food Composition and Analysis, 21(8):589-598.

12- Kukula-Koch, W., Aligiannis, N., Halabalaki, M., Skaltsounis, A.L., Glowniak, K., & Kalpoutzakis, N. 2013. Influence of extraction procedure on phenolic content and antioxidant activity of Cretan barberry herb. Food Chemistry, 138(1):406-413.

13- Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., & Ah-Hen, K. 2012. Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. Food Chemistry, 132(1):1121-1132.

14- Lisak, K., Lenc, M., Jeličić, I., & Božanić, R. 2012. Sensory evaluation of the strawberry flavored yoghurt with stevia and sucrose addition. Hrvatski Časopis Za Prehrambenu Tehnologiju, Biotehnologiju I Nutricionizam, 7:39-43.

15- Louis, D.N., Ohgaki, H., Wiestler, O.D., Cavenee, W.K., Burger, P.C., Jouvet, A., & Kleihues, P. 2007. The 2007 WHO classification of tumours of the central nervous system. Acta neuropathologica, 114(2):97-109.

16- Nabors, L., Lehmkuhl, H., Christos, N., & Andreone, T.L. 2003. Children with Diabetes: Perceptions of Supports for Self-Management at School. Journal of school health, 73(6): 216-221.

17- Poojary, M.M., Vishnumnurthy, K.A., & Adhikari, A.V. 2015. Extraction, characterization and biological studies of phytochemicals from Mammea suriga. Journal of Pharmaceutical Analysis, 5(3):182-189.

18- Saniah, K., & Samsiah, M.S. 2012. The application of Stevia as sugar substitute in carbonated drinks using Response Surface Methodology. Journal of Tropical and Agricultural and Food Science, 40(1):23-34.

19- Shahidi, F., & Naczk, M. 2004. Phenolics in Food and Nutraceuticals. P. 238-309. CRC Press, Washinton DC, USA.

20- Shivanna, N., Naika, M., Khanum, F., & Kaul, V.K. 2013. Antioxidant, anti-diabetic and renal protective properties of Stevia rebaudiana. Journal of Diabetes and its Complications, 27(2): 103-113.

21- Vatankhah, M., Garavand, F., Elhamirad, A., & Yaghbani, M. 2014. Influence of sugar replacement by stevioside on physicochemical and sensory properties of biscuit. Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 7(3):393-400.

22- Yadav, A.K., Singh, S., Dhyani, D., & Ahuja, P.S. 2011. A review on the improvement of stevia [*Stevia rebaudiana (Bertoni)*]. Canadian Journal of Plant Science, 91(1):1-27.

23- Zlabur, J.S., Dobricevic, N., Galic, A., & Voca, S. 2017. The influence of natural sweetener (*Stevia rebaudiana Bertoni*) on bioactive compounds content in chokeberry juice. Journal of Food Processing and Preservation, DOI: 10.1111/jfpp.13406.

Survey on the Effect of Sucrose Replacement with Stevia (*Stevia rebaudiana*) Powder and Tragacanth Gum on Physico-chemical, Rheological and Sensorial Properties of Apricot Nectar

Enseih Asgari[1], Mohammad Goli[2*]

1- MSc Graduated, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran

* Corresponding author (mgolifood@yahoo.com)

Abstract

Awareness of people about the suitable nutrition, can influence human nutrition and lead manufacturers to produce food products with low fat, sugar and salt, but with high fiber. One of the special diets is production of low-calorie foods with less sugar. In this study the effect of replacing sucrose with stevioside (0, 50 and 100%) and tragacanth gum (0.5%) in low-calorie apricot nectar was investigated. In the present study the tests included acidity, pH, total solids, total sugar, density, antioxidant activity (DPPH), total phenol, viscosity, lightness and sensory evaluation. The results showed that the Stevia addition had no significant effect on acidity and pH; however, it caused significant changes in the total solids and density of treatments. Total sugar and viscosity reduced with increasing Stevia addition. Antioxidant activity of samples increased with Stevia addition and, in all samples these factors improved through the addition of tragacanth gum. Additionally, rheological behaviors of samples were Power law with correlation coefficient of higher than 99 percent, and consistency coefficient increased by gum addition. The sensory evaluation results showed that sensory score reduced with 100% Stevia replacement that may be related to the bitter after-taste of Stevia and can be covered with tragacanth gum application. The above mentioned results showed that by replacing sugar with Stevia and tragacanth gum low-calorie products can be produced for the consumers.

Keywords: Apricot Nectar, Sensory Evaluation, Stevia, Tragacanth, Viscosity

قالب پیش‌نویس مقاله برای مجله پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی با بکارگیری امکانات استایل (سبک) در نرم‌افزار وُرد ۲۰۰۷ (سبک عنوان)

نام و نام‌خانوادگی نگارنده اول[۱]، نام و نام‌خانوادگی نگارنده دوم[۲*]، نام و ... نگارنده سوم[۱]، .... (سبک نویسندگان)

۱- مرتبه علمی نگارنده، رشته تخصصی، نام سازمان، نام شهر، نام کشور (سبک مشخصات نویسندگان)

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

* نویسندهٔ مسئول (email@address.ac.ir)

چکیده (سبک عنوان چکیده)

چکیده فارسی با قلم B Nazanin11 در قالب یک پاراگراف، پس از اسامی نویسنده(گان) قرار گیرد. چکیده باید در عین مختصر بودن، به روشنی گویای محتوای مقاله بوده و صنعتی‌بودن طرح در مقاله اشاره شود و با تأکید بر روش‌ها، بیانگر نتایج و اهمیت کاربرد آنها باشد و در آن از کلمات اختصاری مبهم استفاده نشود. از ذکر منابع نیز خودداری گردد. تعداد کلمات چکیده بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ کلمه است. واژه‌های کلیدی با قلم B Nazanin11 به صورت برجسته و به ترتیب حروف الفبا نگارش شوند. تعداد **واژگان کلیدی** از ۵ مورد بیشتر نباشد. **از آوردن پاورقی در عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی اجتناب گردد** (سبک چکیده)

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

واژه‌های کلیدی (سبک **عنوان واژه های کلیدی**)

اختصاری

الفبا

پاراگراف

کلمات (سبک واژه های کلیدی)

مقدمه (سبک عنوان سطح ۱)

این قالب جهت آماده‌سازی مقاله آماده شده است. کلیه تنظیمات مربوط به صفحه و فواصل از اطراف، در این قالب اعمال شده است. لطفا یک کپی از این فایل را در قسمتی از رایانه ذخیره نموده و پس از آن از با کپی و سپس چسباندن[۱] متن خود در این فایل، سبک[۲] مربوط را انتخاب نمایید. همچنین در هر قسمت از مقاله پس از چسباندن متن می‌توانید از مسیر زیر، به طور مستقیم سبک مربوط را اعمال فرمایید:

Paste option > match with Destination format

مقاله‌ای برای چاپ پذیرفته خواهد شد که متن کامل آن قبلاً در هیچ مجله یا نشریه‌ای منتشر و یا برای چاپ به سایر مجلات ارائه نگردیده باشد. در مقالاتی که دارای چند مؤلف هستند ترتیب اسامی و حقوق مؤلفین بر عهده ارسال کننده مقاله (نویسنده مسئول) خواهد بود. مسئولیت هر مقاله از نظر علمی بر عهده نویسنده(گان) خواهد بود. در صورتی که مقاله برای چاپ پذیرفته نشود، عیناً به نویسنده مسئول مسترد خواهد شد. مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری هیأت داوران ارزیابی شده و در صورت تصویب طبق ضوابط خاص مجله به نوبت چاپ خواهد رسید. هیأت تحریریه مجله در رد یا قبول و اصلاح مقالات آزاد است.

---

[1] Paste
[2] Style

مقدمه حاوی مروری بر پژوهش‌های گذشته با استناد به مدارک منتشر شده قبلی و شامل معرفی و توجیه موضوع مورد بررسی باشد و هدف بررسی را بوضوح روشن نماید.

مواد و روش‌ها شامل شرح کامل مواد یا وسایل بکار گرفته شده و روش آزمایش در بررسی باشد. نتایج و بحث باید شامل تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده در ارتباط با تحقیق مورد نظر باشد. متن مقاله با قلم B Nazanin 12 و عناوین اول و دوم به ترتیب با قلم B Nazanin 12 و B Nazanin 11 بصورت برجسته تایپ شود. از سیستم شماره‌گذاری برای عناوین استفاده **نشود**. همچنین شماره زیرنویس‌ها در هر صفحه از یک شروع شده و توسط خود نرم‌افزار ورد شماره‌گذاری شود و از تایپ کردن شماره خودداری شود. فاصله بین خطوط در متن مقاله Single بدون فاصله قبل و بعد انتخاب گردد. کلمات انگلیسی در متن با قلم Times New Roman 10 تایپ شوند. کلیه معادلات و روابط موجود در متن مقاله در سطر جداگانه و به ترتیب شماره گذاری گردند. واحدها باید در مقیاس متریک (SI) ارائه گردند و تمامی آنها به صورت کلمات فارسی و بعد از اعداد آورده شوند (مثال: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر). از بکار بردن کلمات خارجی- غیر از اسامی علمی- در متن خودداری و در صورت نبودن معادل فارسی فراگیر، آنها را به فارسی نوشته و اصل کلمه به صورت زیرنویس در همان صفحه ارجاع داده شود. اسامی علمی (جنس و گونه گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها) در تمام مقاله به صورت مایل تایپ شود.

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

جهت مشخص نمودن احتمال، حرف *P* به صورت حرف بزرگ انگلیسی و مایل با قلم Times New Roman 10 درج گردد (P<۰/۰۵). پرانتزها با قلم فارسی تایپ شوند.

* در صورتی که اصول بدیهی نگارش در مقاله رعایت نگردیده باشد، پیش از ارسال به داوری به نویسنده مسترد خواهد شد (برخی از اصول نگارشی در جدول ۱ آورده شده است) (سبک متن اصلی).

جدول، شکل و عکس (سبک عنوان سطح ۲ و ۳)

عنوان جدول و شکل با قلم B Nazanin10 و بصورت برجسته و متن مربوط به توضیح جدول‌ها و شکل‌ها با قلم B Nazanin10 و بصورت معمولی تایپ شود. عنوان شکل در پایین و با فرمت وسطچین (در صورتی که عنوان شکل بیش از یک خط باشد از فرمت راستچین استفاده شود) و عنوان جدول در بالا و با فرمت راستچین نوشته شده و گویای نتایج مندرج در آن باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول بصورت زیرنویس ارائه گردد. جدول‌ها و شکل‌ها در محل مناسب و به ترتیب در داخل متن مقاله گنجانده شود. جدول‌ها بدون خطوط عمودی و با حداقل خطوط افقی باشند. عنوان جدول باید مختصر و گویای ارتباط عوامل مورد بحث جدول باشد. اعداد در جدول‌ها، شکل‌ها و سایر قسمت‌های مقاله باید به فارسی باشند. عکس‌ها باید دارای مقیاس باشند و در صورت اقتباس از منابع دیگر باید منبع مورد استفاده ذکر گردد.

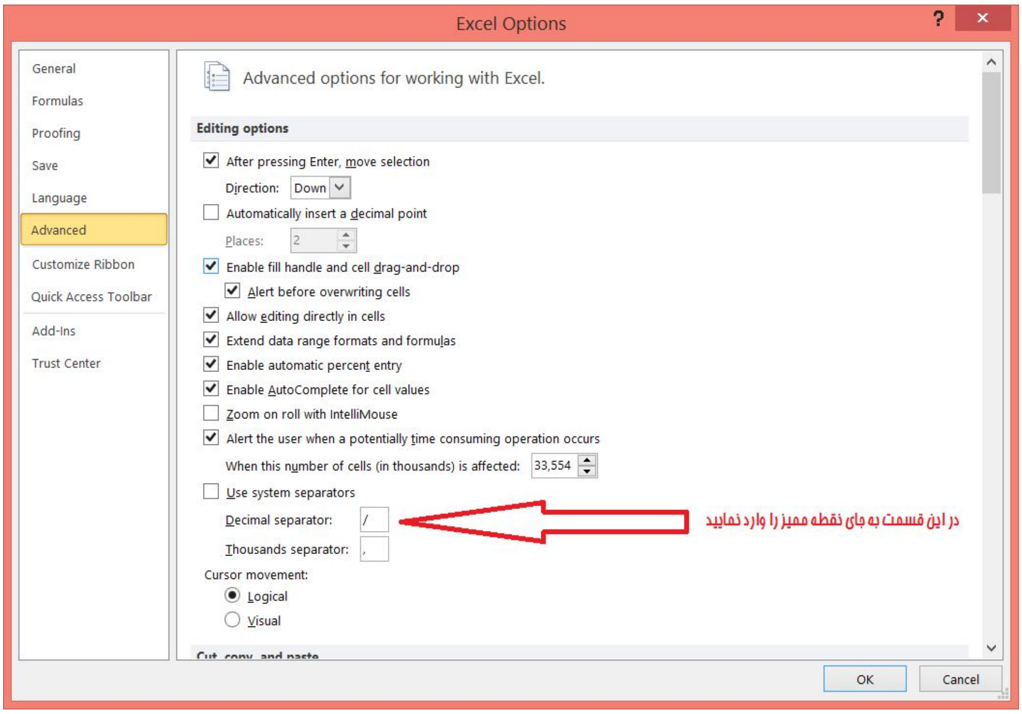
توجه: شکل‌ها باید از کیفیت مناسب برای چاپ برخوردار باشند (حتی الامکان در قالب TIFF) و از الگوهای سیاه و سفید برای ترسیم آنها استفاده شود. ممکن است برای چاپ، شکل‌ها کوچک‌تر شوند؛ بنابراین نوشته‌ها و اعداد روی شکل‌ها باید متناسب و کاملاً خوانا باشند.

نکته مهم: جهت درج اعداد اعشاری روی محور نمودارها می‌بایست از اعداد فارسی با ممیز (/) استفاده گردد و استفاده از نقطه به عنوان ممیز قابل قبول نخواهد بود. برای این منظور می‌توانید قلم‌های واجد این قابلیت (مجموعه قلم پروین) را دانلود نمایید. نحوه درج ممیز فارسی به جای نقطه در شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۲ و شکل‌های ۲ و ۳ به عنوان نمونه پیشنهاد می‌شود.

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

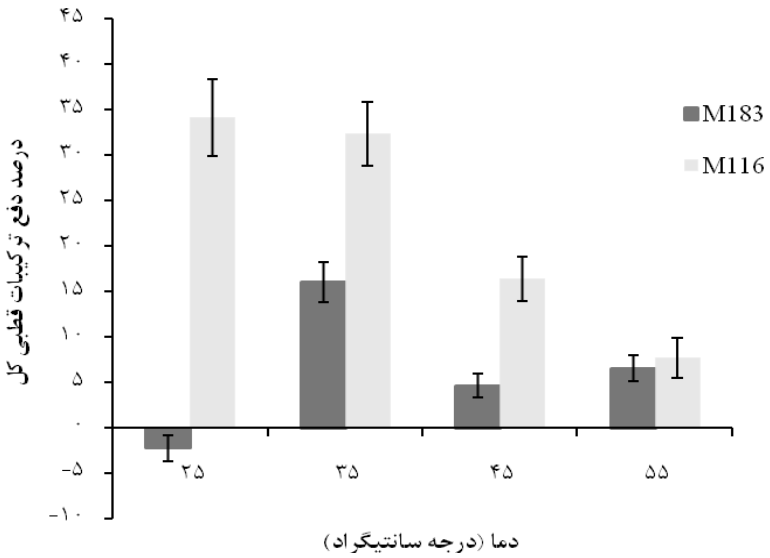
نکته نگارشی	راهنمای صفحه کلید
گذاشتن تشدید همیشه ضرورت ندارد مگر در جایی که موجب ابهام شود: معین/معیّن	SHIFT+ب
تنوین (اً)	SHIFT+ض=ً
آن همیشه جدا نوشته می‌شود مگر: آنها، آنجا، آنکه، بدان، آنچه، وانگهی	
این همیشه جدا نوشته می‌شود مگر: اینها، اینجا، اینکه، بدین	
-تر/ -ترین به غیر از بیشتر/ بیشترین، کمتر/ کمترین، بهتر/ بهترین، مهتر، مهترین، بقیه جدا نوشته می‌شوند.	
چه جدا از کلمه پیش از خود نوشته می‌شود، مگر در: چرا، چگونه، چقدر، چطور، چسان چه جدا از کلمه پس از خود نوشته می‌شود، مگر در: آنچه، چنانچه	
حرکت‌گذاری تنها در حدی لازم است که احتمال بدخوانی و ابهام داده شود: عُرضه/عَرضه؛ حَرف/حِرَف	SHIFT+ی/س/ش
که همیشه جدا نوشته می‌شود به جز در سه مورد: بلکه، اینکه، آنکه	
می– نمی با رعایت نیم‌فاصله، همواره جدا نوشته می‌شوند.	نیم‌فاصله (Ctrl+-)
ها (نشانه جمع) با رعایت نیم‌فاصله جدا از کلمه پیش از خود نوشته می‌شود (به جز در مورد آنها)	
یک در ترکیب، جدا از جزءِ پس از خود نوشته می‌شود، مگر در موارد: یکتا، یکجا، یکدست، یکدفعه، یکدیگر، یکرنگ، یکرو، یکسان، یکسره، یکسو، یکشنبه، یکنواخت	
نقطه (.)، دونقطه (:)، ویرگول (،) همواره به کلمه پیش از خود می‌چسبند ولی بعد از آنها درج یک فاصله الزامی است.	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



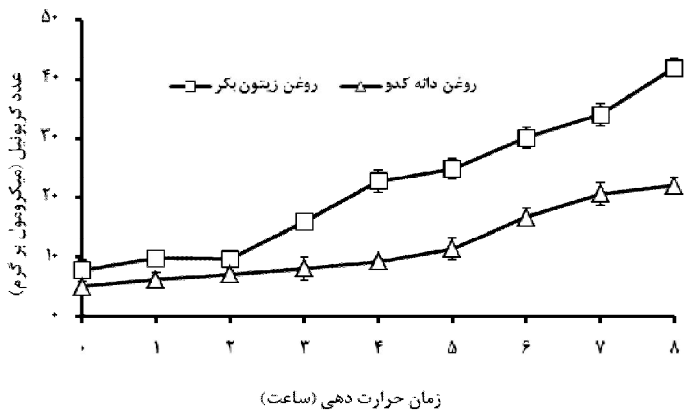
شکل ۱- نحوه درج ممیز فارسی به جای نقطه در نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ (سبک عنوان شکل)

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 هاروارد (Harvard System: Author – Date Scheme) انجام گیرد. بدین ترتیب که نام خانوادگی نویسنده و سال انتشار منبع در پایان جمله و داخل پرانتز نوشته شود. برای منابع خارجی نیازی به ترجمه فارسی اسامی نیست و در متن عیناً به آن اشاره شود. در صورتی که تعداد نویسندگان بیش از دو نفر باشند فقط به ذکر نام خانوادگی نویسنده اول و سپس "همکاران" و یا بصورت لاتین "*et al.*," اکتفا شود. برای مثال:

Sparks و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که....

این امر احتمالاً به دلیل جذب مواد جامد در فرایند اسمزی می باشد که بر روی نفوذ پذیری سلول ها تأثیر می‌گذارد و... (Nelson & Sommers, 1982; Sparks *et al*., 2009).

فتحی و همکاران (۱۳۸۶) تغییرات رنگ کیوی را مورد بررسی...

تنظیم فهرست منابع نیز مطابق شیوه هاروارد انجام گیرد. در تنظیم منابع ابتدا منابع فارسی و در ادامه آن منابع لاتین به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده و بصورت نام خانوادگی و نام نویسنده(گان)، سال انتشار، عنوان مقاله یا کتاب، نام مجله یا ناشر، شماره جلد و صفحات مقاله یا کتاب نوشته شود. از سیستم شماره‌گذاری نرم‌افزار ورد استفاده شود و از تایپ شماره‌ها خودداری شود.

وقتی چند اثر از یک نویسنده استفاده می‌شود، ترتیب شماره‌گذاری این مقالات برحسب سال انتشار آنها (از جدید به قدیم) انجام گیرد.

منابع فارسی با قلم B Nazanin 11 و منابع انگلیسی با قلم Time new Roman 10 و فاصله بعد از هر منبع ۸pt انتخاب شود. تورفتگی منابع به صورت Hanging و ۰/۵ لحاظ گردد.

مثال‌ها

منابع فارسی

۱- شایگان، ج. و افشاری، ع. ۱۳۸۸. بررسی وضعیت آلاینده‌های شهری در فاضلاب‌های شهری و صنعتی در اراضی زراعی و باغی استان‌های جنوبی ایران. نشریه آب و خاک، ۶۱:۲۳-۵۳.

۲- ملکی، م. و دخانی، ش. ۱۳۷۴. صنایع غذایی. جلد اول، انتشارات دانشگاه شیراز، صفحات ۱۰۱-۳۳.

۳- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۷۳. روش اندازه‌گیری پایداری روغن‌ها و چربی‌های خوراکی در برابر اکسید شدن. استاندارد ملی ایران، شماره ۳۷۳۴ ، چاپ اول.

۴- قیطران‌پور، آ. ۱۳۹۲ .بررسی تأثیر افزودن ایزولهٔ پروتئین سویا بر کنتیک انتقال جرم، ویژگی‌های فیزیکی و روند انتقال جرم در آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- گل‌کار، ع.، نصیرپور، ع. و کرامت، ج. ۱۳۹۲. بررسی برهم‌کنش الکترواستاتیک بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی در حالت محلول و سیستم امولسیونی. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۹-۷ آبان ماه، شیراز.

منابع لاتین

مجله علمی

4- Sparks, D.L., Thompson, H.A., & Gupta, H.V. 2009. Visible changes in macro mica particles that occur with nickel depletion. Water, Air and Soil Pollution, 31:217-230.

عنوان ژورنال باید به صورت کامل و غیراختصاری درج گردد.

کتاب

5- Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.

یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited book)

6- Nelson, D.W., & Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P. 539-579. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monoger. 9. ASA and SSSA, Madison. WI.

همایش ها

7- Berrada, B. 2004. Option for water management during drought. P. 29-37. In E.D. Martin (ed.) Proceedings of the 4th Annual Four Corners Irrigation Workshop, 8-10 Jul. 2004. Soil and Water Conservation Society, New Mexico, USA.

درگاه الکترونیکی (Website)

8- Mathieu, R., Richards H.M., Brooks, S.J., Stewart, W. and Sbih M. 2004. Relationships between Radarsat SAR data and surface moisture in soil. International. Journal of Remote Sensing 24(2):65-81. Available at http://www.informaworld.com/contentUa/V.24-2-2004/article9.htm (visited 5September 2010).

9- Food and Agriculture Organization (FAO). Visited in September 2013. Available online at: http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor

A template for preparing papers in journal of research and innovation in food science and technology using styles in Microsoft word 2007(style: English title)

First and Family name of Author[1], First and Family name of Author[2*], (Style: Authors)

1- Professor, Name of the Department, University Name, Mashhad, Iran
2- Assistant Professor, Name of the Department, University Name, Mashhad, Iran (Style: Authors' Affiliation)
*Corresponding author (email@address.ac.ir)

Abstract (Style: Abstract Title)

The submitted articles are required to be written in English including an abstract which must comply with the following rules: 1) the title must be written at the top of the page, in the center, using Times New Roman BOLD, 14 pt. 2) The main words (not the prepositions) in the title must be capitalized. 3) The authors' names must be written, under the title, using Times New Roman BOLD, 12 pt. The names are followed by the authors' titles and their universities' titles using Times New Roman 11pt. 4) The keywords must be written, following the abstract text, using Times New Roman BOLD, 11 pt. (Style: Abstract)

Keywords (Style: Keywords Title): Authors' names, Main words, Title

چکیده و واژه‌های انگلیسی

چکیده انگلیسی در انتهای مقاله (بعد از فهرست منابع) قرار گیرد. عنوان انگلیسی با قلم Times New Roman 14 و به صورت برجسته در وسط سطر آورده شود. ابتدای واژه‌های اصلی عنوان انگلیسی مقاله با حروف بزرگ نوشته شود. اسامی نویسنده(گان) با قلم Times New Roman 12 و به صورت برجسته در وسط سطر و پس از آن درجه علمی و محل خدمت با قلم Times New Roman 11 و به صورت معمولی تایپ شود. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد و تعداد کلمات چکیده بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ کلمه است. چکیده انگلیسی با قلم Times New Roman 11 معمولی پس از اسامی نویسنده(گان) قرار گیرد. واژگان کلیدی انگلیسی (keywords) با قلم Times New Roman 11 به صورت برجسته پس از چکیده انگلیسی آورده شوند. تعداد واژگان کلیدی انگلیسی برابر فارسی آن باشد.

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: **۹۱۸۵۱-۷۶۹۳۳ 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 زرین اسحاقی	گروه شیمی، دانشگاه پیام نور ـ مرکز مشهد
دکتر شهرام بیرقی طوسی	گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد
مهندس محمدحسین توسلی	کارشناس آزمایشگاه‌های گروه آموزشی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حمید توکلی‌پور	گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد سبزوار
دکتر مسلم جهانی	گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر محمدباقر حبیبی نجفی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر وحید حکیم‌زاده	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد قوچان
دکتر علی رافع	گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر سیدمهدی زیارت‌نیا	گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر علیرضا صادقی ماهونک	گروه شیمی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر بهاره عمادزاده	گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر سودابه عین افشار	بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
دکتر میلاد فتحی	گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
مهندس سمیرا فیضی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محسن قدس روحانی	گروه علوم و صنایع غذایی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر داوود کلانتری	گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر محمد گلی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد اصفهان (خوراسگان)
مهندس غلامعلی گلی موحد	گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر حسین محب‌الدینی	گروه علوم دامی، دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر سیدعلی مرتضوی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سیدمحمود موسوی	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سارا ناجی طبسی	گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر محمد نوشاد	گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر راضیه نیازمند	گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

Contents

Effect of Sesame Oil and its Unsaponifiable Materials on Reduction of Acrylamide in Fried Potato Slices 1
Zahra Keshavarz, Razieh Niazmand, Akram Arianfar

The Effect of Wall Material and Encapsulation Method on Physicochemical Properties Micro-encapsulated Fish Oil 13
Bahare Shabanpour, Bahar Mehrad, Parastoo Pourashouri, Seyed Mahdi Jafari

Optimization of Formulation Variables and Conditions of the Extrusion Process Large Snack Products Containing Bene cake- Flour 29
Behnam Fiuzy, Mohammad Javad Varidi, Elnaz Milani, Fakhri Shahidi, Mohammad Hossein Haddad Khodaparast

Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Bee Pollen Protein by Pepsin Based on Antioxidant and ACE Inhibitory Activity and Comparison with Those of Royal Jelly 49
Atefe Maqsoudlou, Alireza Sadeghi Mahoonak, Mohamad Ghorbani, Fidel Toldra

The Effect of Microwave Pretreatment on the Oxidative Stability and Some Quantity and Quality of Extracted Oil from Rapeseeds 65
Masoumeh Moghimi, Adel Beig Babaei, Hamid Bakhshabadi, Morteza Mohamadi, Shilan Rashidzadeh

Modeling of Mass Transfer in the Drying Process of Apple Slices Using Infrared Irradiation with Intermittent Heating Method 75
Hassan Sabbaghi, Aman Mohammad Ziaiifar, Mahdi Kashaninejad

Detecting Adulteration in Camel Milk Using Color Change Modeling by Image Processing and Mixture-process Variable Experiments 89
Morteza Kashaninejad, Mohebbat Mohebbi

Survey on the Effect of Sucrose Replacement with Stevia (*Stevia rebaudiana*) Powder and Tragacanth Gum on Physico-chemical, Rheological and Sensorial Properties of Apricot Nectar 105
Enseih Asgari, Mohammad Goli

Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology

License No. 92.20519 **Vol. 7, No. 1, 2018**

Published by: Research Institute of Food Science and Technology

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 1, 2018 ISSN: 2252-0937

Contents

Effect of Sesame Oil and its Unsaponifiable Materials on Reduction of Acrylamide in Fried Potato Slices 1
Zahra Keshavarz, Razieh Niazmand, Akram Arianfar

The Effect of Wall Material and Encapsulation Method on Physicochemical Properties Micro-encapsulated Fish Oil 13
Bahare Shabanpour, Bahar Mehrad, Parastoo Pourashouri, Seyed Mahdi Jafari

Optimization of Formulation Variables and Conditions of the Extrusion Process Large Snack Products Containing Bene cake- Flour 29
Behnam Fiuzy, Mohammad Javad Varidi, Elnaz Milani, Fakhri Shahidi, Mohammad Hossein Haddad Khodaparast

Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Bee Pollen Protein by Pepsin Based on Antioxidant and ACE Inhibitory Activity and Comparison with Those of Royal Jelly 49
Atefe Maqsoudlou, Alireza Sadeghi Mahoonak, Mohamad Ghorbani, Fidel Toldra

The Effect of Microwave Pretreatment on the Oxidative Stability and Some Quantity and Quality of Extracted Oil from Rapeseeds 65
Masoumeh Moghimi, Adel Beig Babaei, Hamid Bakhshabadi, Morteza Mohamadi, Shilan Rashidzadeh

Modeling of Mass Transfer in the Drying Process of Apple Slices Using Infrared Irradiation with Intermittent Heating Method 75
Hassan Sabbaghi, Aman Mohammad Ziaiifar, Mahdi Kashaninejad

Detecting Adulteration in Camel Milk Using Color Change Modeling by Image Processing and Mixture-process Variable Experiments 89
Morteza Kashaninejad, Mohebbat Mohebbi

Survey on the Effect of Sucrose Replacement with Stevia (*Stevia rebaudiana*) Powder and Tragacanth Gum on Physico-chemical, Rheological and Sensorial Properties of Apricot Nectar 105
Enseih Asgari, Mohammad Goli