نشریه علمی - پژوهشی

پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران

Iranian food science and technology Association

دانشگاه فردوسی مشهد

جلد۱۳ شماره ۵
سال ۱۳۹۶

شماره پیاپی ٤٤

شاپا: ۱۷۳۵-۴۱۶۱

عنوان مقالات

بهینه‌سازی راندمان تولید پودر رب گوجه‌فرنگی با استفاده از خشک‌کن پاششی و ارزیابی ویژگی‌های کیفی آن ٦٤٧
عادل دزیانی- امان محمد ضیائی‌فر- سید مهدی جعفری- محمد قربانی- علیرضا صادقی ماهونک

استفاده از خواص مکانیکی خمیر در پیشگویی رئولوژی خمیر، جنبه‌های کیفی، حسی، ماندگاری و ریزساختار نان: بررسی با روش‌های چند متغیره متقارن و نامتقارن ٦٦٣
امیر پورفرزاد- مهدی کریمی- زهرا احمدیان کوچکسرایی- سودیه هجری ظریفی- سیامک غیبی

بررسی اثرتعداد لایه‌ها و غلظت‌های مختف پوشش‌های خوراکی کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان بر کارایی فرایند خشک کردن اسمزی سیب زرد لبنانی ٦٨٠
سیده الهام ساداتی گل‌افشانی- سید مهدی جعفری- سید مهدی کاشانی‌نژاد- شهرام بیرقی طوسی- محمد گنجه

بررسی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده و سینتیک تغییرات بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در آب داغ ٦٩١
حامد بیکی- ناصر همدمی- جلال پورتقی

بررسی سینتیک انتقال جرم و مدل‌سازی ریاضی فرایند آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج در محلول‌های شربت گلوکز و نمک ۷۰٤
مینا کارگزاری- مرتضی جمشید عینی

اثر پوشش‌های سلوفان و کیتوزان بر ویژگی‌های کیفی و انبارمانی فلفل دلمه‌ای رقم "کالیفرنیا واندر" ۷۲۰
میثم محمدی- مهدی صیدی- اورنگ خادمی

پیش‌بینی تغییرات برخی از ویژگی‌های کیفی آب توت سیاه (*Morus alba Var nigra* L.) طی مراحل مختلف رسیدگی بر اساس آنالیز فرکتال و بینایی ماشین ۷۳۰
مریم سلطانی کاظمی- سامان آبدانان مهدی‌زاده- مختار حیدری- سید مجتبی فارغ

بهینه‌سازی شرایط تشکیل کونژوگه‌های حاصل از پروتئین‌های شیر با بخش محلول صمغ‌های بومی ایرانی (صمغ فارسی و کتیرا) ۷٤٤
فاطمه آذری کیا- سلیمان عباسی

بررسی اثر نگهداری در دمای محیط(درجه سلسیوس) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات زیست‌فعال میوه زغال اخته ۷۵۹
روح‌اله پاشایی بهرام- صدیف آزادمرددمیرچی- جواد حصاری- سیدهادی پیغمبردوست- صمدبدبک- بیوک‌آقا فرمانی

بررسی اثرامولسیفایرهای پلی‌گلیسرول استر و امولسیفایر داتم به حالت ژل بر خصوصیات فیزیکوشیمیای، رئولوژیکی و حسی کیک روغنی ۷۷۱
مریم‌قنادرضایی-اکرم آریان‌فر-زهراشیخ‌الاسلامی

ارزیابی خواص ضداکتریایی فیلم زیست‌فعال کیتوزان حاوی اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* ۷۸٤
احسان آزادبخت- یحیی مقصودلو- مرتضی خمیری- محبوبه کشیری

بررسی تاثیر فرآیندهای مختلف رساندن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی برنج رقم طارم ۷۹۸
عاصفه لطیفی- محسن اسمعیلی

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه علمی - پژوهشی پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران جلد ۱۳ شماره ۵ سال ۱۳۹۶
Iranian Food Science and Technology Research Journal Vol.13 No.5 2017

نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران

با شماره پروانه 124/847 و درجه علمی – پژوهشی شماره $\frac{3/11/810}{88/5/10}$ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جلد 13 شماره 5 آذر - دی 1396

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

صاحب امتیاز: گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر ناصر شاهنوشی استاد، اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

سردبیر: دکتر سید محمد علی رضوی استاد، مهندسی وخواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

کارشناس امور اجرایی: دکتر مسعود تقی زاده استادیار، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیات تحریریه:

دکتر محمدرضا احسانی استاد، تکنولوژی لبنیات، دانشگاه تهران
دکتر هاشم پورآذرنگ استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدباقر حبیبی نجفی استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر اصغر خسروشاهی استاد، تکنولوژی لبنیات، دانشگاه ارومیه
دکتر مرتضی خمیری دانشیار، میکروبیولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر سید محمد علی رضوی استاد، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد علی سحری استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه تربیت مدرس
دکتر فخری شهیدی استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر ناصر صداقت دانشیار، بسته بندی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر عسگر فرحناکی دانشیار، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه شیراز
دکتر رضا فرهوش استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر بی بی صدیقه فضلی بزاز استاد، میکروبیولوژی، دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد
دکتر مهدی کاشانی نژاد دانشیار، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر مهدی کدیور دانشیار، شیمی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان
دکتر سید علی مرتضوی استاد، میکروبیولوژی وبیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدجواد وریدی دانشیار، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد **چاپ:** مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: 250 نسخه **قیمت:** 5000 ریال (دانشجویان 2500 ریال)

نشانی: مشهد- کد پستی 91775 صندوق پستی 1163

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

تلفن: 20-8795618 داخلی 321 نمابر: 8787430

این نشریه درپایگاههای زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم ایران(ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی(SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

پست الکترونیکی: ifstrj@um.ac.ir

این نشریه در سایت http://jm.um.ac.ir/index.php/food_tech/index به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

بهینه‌سازی راندمان تولید پودر رب گوجه‌فرنگی با استفاده از خشک‌کن پاششی و ارزیابی ویژگی‌های کیفی آن 647
عادل دزیانی- امان محمد ضیائی‌فر- سید مهدی جعفری- محمد قربانی- علیرضا صادقی ماهونک

استفاده از خواص مکانیکی خمیر در پیشگویی رئولوژی خمیر، جنبه‌های کیفی، حسی، ماندگاری و ریزساختار نان: بررسی با روش‌های چند متغیره متقارن و نامتقارن 663
امیر پورفرزاد- مهدی کریمی- زهرا احمدیان کوچکسرایی- سودیه هجری ظریفی- سیامک غیبی

بررسی اثرتعداد لایه‌ها و غلظت‌های مختف پوشش‌های خوراکی کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان بر کارایی فرایند خشک کردن اسـمزی سیب زرد لبنانی 680
سیده الهام ساداتی گل‌افشانی- سید مهدی جعفری- سید مهدی کاشانی‌نژاد- شهرام بیرقی طوسی- محمد گنجه

بررسی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده و سینتیک تغییرات بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در آب داغ 691
حامد بیکی- ناصر همدمی- جلال پورتقی

بررسی سینتیک انتقال جرم و مدل‌سازی ریاضی فرایند آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج در محلول‌های شربت گلوکز و نمک 704
مینا کارگزاری- مرتضی جمشید عینی

اثر پوشش‌های سلوفان و کیتوزان بر ویژگی‌های کیفی و انبارمانی فلفل دلمه‌ای رقم "کالیفرنیا واندر" 720
میثم محمدی- مهدی صیدی- اورنگ خادمی

پیش‌بینی تغییرات برخی از ویژگی‌های کیفی آب توت سیاه (*Morus alba Var nigra* L.) طی مراحل مختلف رسیدگی بر اساس آنالیز فرکتال و بینایی ماشین 730
مریم سلطانی کاظمی- سامان آبدانان مهدی‌زاده- مختار حیدری- سید مجتبی فارغ

بهینه‌سازی شرایط تشکیل کونژوگه‌های حاصل از پروتئین‌های شیر با بخش محلول صمغ‌های بومی ایرانی (صمغ فارسی و کتیرا) 744
فاطمه آذری کیا- سلیمان عباسی

بررسی اثر نگهداری در دمای محیط(درجه سلسیوس) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات زیست‌فعال میوه زغال اخته 759
روح‌اله پاشایی بهرام- صدیف آزادمرددمیرچی- جواد حصاری- سیدهادی پیغمبردوست- صمدبدبدک- بیوک‌آقا فرمانی

بررسی اثرامولسیفایرهای پلی‌گلیسرول استر و امولسیفایر داتم به حالت ژل بر خصوصیات فیزیکوشیمیای، رئولوژیکی و حسی کیک روغنی 771
مریم‌قنادرضایی-اکرم آریان‌فر-زهراشیخ‌الاسلامی

ارزیابی خواص ضداکتریایی فیلم زیست‌فعال کیتوزان حاوی اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* 784
احسان آزادبخت- یحیی مقصودلو- مرتضی خمیری- محبوبه کشیری

بررسی تاثیر فرآیندهای مختلف رساندن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی برنج رقم طارم 798
عاصفه لطیفی- محسن اسمعیلی

جایگزینی شکر با شیره خرما در کیک فنجانی 808
اعظم ایوبی- مهدا پورابوالقاسم

بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی کنسانتره آب انار رقم رباب طی دوره نگهداری در دماهای مختلف 820
مریم فرهمند - محمدتقی گلمکانی - عسگر فرحناکی - غلامرضا مصباحی

بهینه‌سازی و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی، حسی و میکروبی نوشیدنی پروبیوتیک لیمویی تولید شده بر پایه تراوه 830
رضا امیر خمیریان- حسین جوینده- جواد حصاری- حسن برزگر

بکارگیری *لاکتوباسیلوس روتری* در تهیه نان پروبیوتیک بخش : ارزیابی فرآیند ریزپوشانی به روش بسترشناور بر زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس روتری* در شرایط شبیه‌سازی شده معده 844
لیلا زاغری- علیرضا بصیری- سمیه رحیمی- علی زنوزی
تعیین خواص رئولوژیکی گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری شبه استاتیکی 858
مرصاد قربان نژاد شهرودی- عبدالله گل‌محمدی- داود کلانتری
استفاده از فناوری ماشین بینایی در ارزیابی ظاهری دونات پیش‌فرآیند شده توسط مایکروویو 867
مهران نوری- بهزاد ناصحی- وحید سماواتی- سامان آبدانان مهدی‌زاده

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 647-662

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 662-647

بهینه‌سازی راندمان تولید پودر رب گوجه‌فرنگی با استفاده از خشک‌کن پاششی و ارزیابی ویژگی‌های کیفی آن

عادل دزیانی[1]- امان محمد ضیائی‌فر[*2]- سید مهدی جعفری[3]- محمد قربانی[3]- علیرضا صادقی ماهونک[3]

تاریخ دریافت: 1394/10/01
تاریخ پذیرش: 1395/02/11

چکیده

حساسیت بالای آب‌میوه‌ها و سبزیجات به حرارت منجربه توسعه روش خشک کردن پاششی جهت خشک کردن این دسته از محصولات گردیده است. تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و ارزیابی اثر دمای هوای ورودی خشک‌کن (۱۲۰، ۱۵۰و 180°C) و غلظت کمک خشک‌کن یا حامل مالتودکسترین و ایزوله پروتئین آب‌پنیر با نسبت 4 به 1 (25 ، 37/5 و 50 درصد وزنی/ وزنی) بر خصوصیات کیفی و کمی پودر رب گوجه‌فرنگی شامل مقدار رطوبت، دانسیته توده‌ای، حلالیت، شکل و ساختار پودر و همچنین مقدار لیکوپن آن و راندمان تولید پودر انجام شده است. جهت انتخاب شرایط بهینه تولید پودر از روش سطح پاسخ استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن، راندمان (غیرمعنی‌دار) و حلالیت (معنی‌دار) پودر افزایش‌یافته، درحالی‌که، مقدار رطوبت (معنی‌دار)، دانسیته توده (غیرمعنی‌دار) و مقدار لیکوپن پودر (معنی‌دار) کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت حامل راندمان تولید، حلالیت و مقدار لیکوپن پودر افزایش یافت درحالی‌که مقدار رطوبت و دانسیته توده پودر کاهش نشان داد. شرایط بهینه به‌منظور دستیابی به بیش‌ترین راندمان تولید، حلالیت، مقدار لیکوپن پودر و کم‌ترین مقدار رطوبت، دانسیته توده، در دمای 150°C و غلظت حامل 50 درصد (وزنی/ وزنی)، حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: پودر رب گوجه‌فرنگی، خشک کردن پاششی، حامل مالتودکسترین و ایزوله پروتئین آب پنیر، بهینه‌سازی

مقدمه

بشر از دیرباز به‌منظور نگهداری و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی از فرآیند خشک کردن استفاده می‌کند. فرآیند خشک کردن برای محصولاتی با قابلیت از دست دادن رطوبت در حد رضایت‌بخش برای بسته‌بندی، انتقال و نگهداری آن‌ها، بدون تأثیری شدید بر ویژگی‌های محصول به‌کار می‌رود. (keey, 1978; Tsujimoto *et al.*,1991).

خشک کردن پاششی یکی از مطلوب‌ترین روش‌های خشک کردن ماده غذایی با حفظ بهتر کیفیت اولیه آن است. در این روش، مایعات به‌صورت محلول، سوسپانسیون، خمیر و یا کنسانتره به پاشنده پمپاژ شده و ذرات ریز خروجی درتماس با جریان هوای گرم داخل محفظه خشک‌کن به پودر تبدیل می‌شود. در این روش، زمان خشک شدن بسیار کوتاه‌تر از دیگر روش‌های خشک شدن می‌باشد و می‌توان با کنترل زمان اقامت مواد در خشک‌کن ضایعات یا صدمات حرارتی وارده به ماده غذایی محصولات غذایی را به حداقل رساند. از این‌رو در خشک‌کن‌های پاششی ویژگی‌های کیفی و کمی محصول نهایی به‌نحوه بهتری قابل‌کنترل بوده و می‌توان از آن‌ها به‌منظور خشک‌کردن مداوم مواد غذایی حساس به حرارت استفاده کرد. با طراحی مناسب و کنترل فرآیند خشک‌شدن، مواد غذایی حساس به گرما، مواد بیولوژیک و دارویی را می‌توان در فشار اتمسفر و در دمای پایین خشک کرد (Tang *et al.*,1999).

استفاده از پودر آب‌میوه‌ها می‌تواند به‌عنوان ترکیبی افزودنی برای ایجاد رنگ یا مزه در مواد غذایی و یا دارویی جایگزین شود. از سوی دیگر کاهش هزینه حمل و نقل، بسته‌بندی راحت و مناسب و امکان استفاده مستقیم پودرها به‌عنوان مواد اولیه و انتقال خیلی راحت‌تر نسبت به کنسانتره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است (Shrestha *et al.*, 2007).

پودر گوجه‌فرنگی دارای فواید بسیار زیادی از جمله سهولت بسته‌بندی، حمل و نقل و مخلوط کردن می‌باشد. هم‌چنین مانند رب گوجه‌فرنگی به دیواره‌های ظروف بسته‌بندی نمی‌چسبد (Masters, 1985). علاوه بر این پودر گوجه‌فرنگی توسط تولیدکنندگان سوپ‌های

1، 2 و 3- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، استادیار و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(* - نویسنده مسئول: Email: ziaiifar@gau.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.52414

دهیدراته[1] بسیار مورد توجه قرارگرفته است (Greensmith, 1998). هم‌چنین در بسیاری از محصولات غذایی، عمدتاً سوپ‌ها، سس‌ها و کچاب به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل فیزیکی پودرهای گوجه‌فرنگی یک حالت پایدار و طبیعی را فراهم می‌کند که می‌تواند به‌منظور انتقال طعم و رنگ به محصولات غذایی استفاده شود. در هر حال، بالا بودن خاصیت جذب رطوبت و نرم شدن در اثر حرارت پودرها باعث مشکلاتی مانند چسبیدن به دیواره محفظه خشک‌کن در حین خشک کردن می‌شود (Bhandari *et al*., 1993).

نگهداری گوجه‌فرنگی از لحاظ تجاری بسیار حائز اهمیت است. گوجه‌فرنگی به‌عنوان جزئی از سالاد سبزیجات و غذاهای تند شناخته‌شده و در بسیاری از کشورها کنسرو گوجه‌فرنگی یکی از اصلی‌ترین محصولات کنسرو شده تلقی می‌گردد. کیفیت گوجه‌فرنگی به وسیله طعم و رنگ خود مشخص می‌شود و هم‌چنین حاوی بسیاری از ویتامین‌ها از جمله ویتامین c، کاروتنوئیدها و سایر مواد مغذی با ارزش است (Baloch *et al*., 1997).

لیکوپن ترکیب زیست فعالی مغذی می‌باشد که باعث جذب رادیکال‌های آزاد اکسیژن شده و می‌تواند به‌عنوان یک شاخص ارزشمند برای محصولات گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شود. نتایج تحقیقات نشان می دهد که حرارت دادن و خشک کردن این محصولات تحت شرایط فرآوری جهت تولید پودر گوجه‌فرنگی ممکن است سبب تخریب لیکوپن گردد. تحقیقات نشان داده است که توانایی از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن به وسیله لیکوپن 2 برابر بیش تر از بتا کاروتن و 10 برابر بیشتر از آلفا توکوفرول است (Goula *et al*., 2006; Sharma *et al*., 1996).

چسبندگی ذرات به دیواره محفظه خشک‌کن تحت تأثیر ماهیت ماده ورودی به خشک‌کن و شرایط خشک کردن قرار داردکه در خصوص مواد حاوی قند نظیر آب‌میوه‌ها و گوجه‌فرنگی، این پارامتر از اهمیت خاصی در فرآیند خشک کردن برخوردار می‌باشد Bhandari (*et al*., 1997).

یکی از روش‌های کاهش چسبندگی ذرات در خشک کردن پاششی استفاده از کمک خشک‌کن‌ها یا حامل‌ها[2] است که وزن مولکولی بالای این مواد، دمای انتقال شیشه‌ای ذرات تولیدی را افزایش می‌دهد (Kabral *et al*., 2009).

گولا و آداموپولوس (2010)، برای خشک کردن پاششی کنسانتره آب پرتقال هوای داغ رطوبت‌گیری شده به‌عنوان محیط خشک کردن و مالتودکسترین به‌عنوان حامل خشک کردن استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که ترکیب مالتودکسترین و هوای رطوبت‌گیری شده مورد استفاده،کارایی فرآیند خشک کردن را افزایش داده و میزان رسوبات باقی‌مانده بر دیواره خشک‌کن کاهش می‌یابد.

کومار و همکاران (2014)، اثر حامل‌های خشک‌کننده مالتودکسترین باDE=20، صمغ عربی و کنسانتره پروتئین آب پنیر را بر خصوصیات فیزیکی و ساختاری پودر پالپ تمر هندی[3] مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که تمامی حامل‌ها منجربه بهبود راندمان تولید در نتیجه افزایش غلظت آن در ماده خوراک شده، که در این بین کنسانتره پروتئین آب پنیر راندمان تولید بیشتری (76/23 درصد) نسبت به بقیه می‌شود. هم‌چنین خواص رنگی و مقدار رطوبت پودرهای حاصل به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع حامل و مقدار آن قرار داشته است. علاوه بر این، دانسیته توده‌ای و جذب رطوبت پودرها با افزایش مقدار حامل در ماده خوراک کاهش پیدا کرده و پودرهای دارای کنسانتره پروتئین آب‌پنیر دارای جذب رطوبت کم‌تری بوده‌اند. بررسی‌های میکروساختاری پودرها حاکی از آن بود که ذرات پودر شکل‌ها و اندازه‌های متفاوتی (کروی، نامنظم و چروکیده) دارند.

کوک و همکاران (2007)، خواص فیزیکوشیمیایی پودر هندوانه تولید شده به‌وسیله خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی را مورد پژوهش قرار دادند. در این مطالعه برای فرآیند خشک کردن در دماهای ورودی 145، 155، 165 و 175 درجه سانتی‌گراد و حامل مالتودکسترین در مقادیر 3 و 5 درصد به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن، مقدار رطوبت و حلالیت کاهش می‌یابد درحالی‌که دماهای مختلف بر فعالیت آبی پودر تولیدی تأثیر قابل توجهی نداشته است و مقادیر L^*، a^* و b^* با تغییر دمای هوای ورودی تغییر می‌کند.

میشرا و همکاران (2013)، تأثیر غلظت مالتودکسترین و دمای ورودی در طی خشک کردن پاششی بر خواص آنتی‌اکسیدانی و فیزیکوشیمیایی پودر آب‌میوه آملا[4] (نوعی میوه گرمسیری) را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، دمای هوای ورودی 125، 150، 175 و 200 درجه سانتی‌گراد و غلظت مالتودکسترین 3، 5، 7 و 9 درصد در نظر گرفته شد. مقدار رطوبت و جذب رطوبت پودر به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر دمای ورودی و مقدار مالتودکسترین قرار داشت. این درحالی بود که مقدار مالتودکسترین اثر بسزایی بر دانسیته توده‌ای و حلالیت پودر نداشت. بررسی‌های ریز ساختار پودرها هم‌چنین، نشان داد که کوچک‌ترین ذرات در بالاترین دمای ورودی خشک‌کن تولید می‌شوند. در این پژوهش، پودر تولیدی با غلظت مالتودکسترین 7% و دمای ورودی 175 درجه سانتی‌گراد دارای جذب رطوبت پایین و رنگ قابل قبولی بودند.

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و ارزیابی اثر دمای هوای ورودی خشک‌کن پاششی نیمه صنعتی (۱۲۰،۱۵۰و 180°C) و غلظت حامل

---

1 Dehydrated soups
2 Carrier agent
3Tamarind pulp powder
4 *Amla*

مالتودکسترین در ترکیب با ایزوله پروتئین آب‌پنیر با نسبت 4 به 1 (25، 37/5 و 50 درصد وزنی/ وزنی) بر خصوصیات کیفی و کمی پودر رب گوجه‌فرنگی تولیدی شامل مقدار رطوبت، دانسیته توده‌ای، حلالیت، شکل و ساختار پودر و هم‌چنین مقدار لیکوپن و بهینه‌سازی راندمان تولیدآن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

رب گوجه‌فرنگی واریته *S.lycopersicum* از شرکت صنایع‌غذایی کامنوش واقع در استان گلستان خریداری شد، لیکوپن از شرکت آنهویی مین متالز دولوپمنت[1] (آنهویی چین)، مالتودکسترین با دکستروز اکی‌والان 18 از شرکت کینهانگدائو لیهو[2] (کینگهادائو، چین)، ایزوله پروتئین آب‌پنیر (80 درصد) از شرکت سیگما، پترولیوم اتر، سدیم هیدروکسید و پتاسیم هیدروکسید، استون و متانول از شرکت مرک آلمان تهیه گردیدند.

تولید خوراک

برای تولید خوراک ورودی به خشک‌کن پاششی، محلول حامل (مالتودکسترین در ترکیب با ایزوله پروتئین آب‌پنیر با نسبت 4 به 1) با رب گوجه‌فرنگی (بریکس 36/5 درصد) ابتدا با هم‌زن و سپس با هموژنایزر دور بالا (D91126، شرکت هایدولف، آلمان)، با سرعت 8000 دور در دقیقه مخلوط شدند. مقدار حامل اضافه شده به رب گوجه‌فرنگی 25، 37/5 و 50 درصد بر اساس وزن ماده خشک رب گوجه‌فرنگی و بریکس نهایی خوراک 20 درصد بود. نمونه‌های خوراک قبل از ورود به خشک‌کن پاششی تا دمای 70 درجه سانتی‌گراد پیش‌گرم شدند.

لازم به ذکر است که برای تولید محلول حامل مقدار مشخص شده آن در مقدار محاسبه‌شده‌ای از آب مقطر حل گردید و به مدت یک شب در حمام بن ماری در دمای 45 درجه سانتی‌گراد به‌منظور اطمینان از هیدراته شدن کامل حامل و ایجاد یک محلول شفاف، نگهداری شد (Kaushik, 2007).

تولید پودر رب گوجه‌فرنگی

برای تولید پودر، خوراک‌های تولید شده به یک خشک‌کن پاششی نیمه صنعتی (آذرمخزن، ایران) با ارتفاع 3 متر و قطر 1/5 متر منتقل شدند. حجم محفظه خوراک این خشک‌کن حدود 700 گرم بود که 500 گرم خوراک تهیه شده در آن ریخته شد. هم‌چنین خشک‌کن به یک کمپرسور هوای فشرده متصل بود که فشار هوای خروجی از آن حدود 2 بار بود. بخشی از هوای فشرده خروجی از کمپرسور به محفظه خوراک وارد شده و در آن‌جا نیروی مورد نیاز جهت انتقال سیال به بالای برج خشک‌کن را تأمین می‌کرد. بخش دیگر هوای فشرده مستقیماً به سمت نازل خشک‌کن حرکت کرده و در آن‌جا فشار مناسب جهت خروج مواد از سر نازل، ریز کردن یا اسپری کردن خوراک را تأمین می‌کرد. قطر سر نازل خشک‌کن پاششی، 0/5 میلی‌متر بود. برای خشک کردن خوراک، غلظت حامل (25، 37/5، و 50 درصد) و دمای هوای ورودی خشک‌کن (120، 150 و 180°C) به‌عنوان متغیر خشک کردن در نظر گرفته شدند. هم‌چنین فشار هوای نازل بر روی 2 بار و دمای خوراک 70 درجه سانتی‌گراد ثابت در نظر گرفته شد. خوراک‌ها پس از خشک شدن در محفظه محصول جمع‌آوری شده و سپس در ظروف پلاستیکی تیره و کاملاً دربسته نگهداری شدند. به‌منظور بررسی کیفیت پودرهای تولید شده، راندمان تولید، مقدار رطوبت، حلالیت، دانسیته توده‌ای و مقدار لیکوپن اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین آنالیزهای ریزساختار نمونه‌های پودر از لحاظ شکل و ساختار ذرات نیز انجام شد.

آزمون های پودر

راندمان تولید پودر

راندمان تولید پودر یکی از شاخص‌های اصلی عملکرد خشک‌کن پاششی است. راندمان کلی پودر خشک شده طبق معادله (1) محاسبه شد (Bhandari *et al*., 1997).

$$\% \text{ production efficiency} = (\text{total weight of resulting powder on dry basis} / \text{total solid content in feed}) \times 100 \quad (1)$$

production efficiency%: درصد راندمان تولید پودر

Total weight of resulting powder on dry basis: وزن پودر تولیدی بر پایه خشک (گرم)

Total solid content in feed: مواد جامد کل خوراک (گرم)

درصد رطوبت پودر

برای اندازه‌گیری رطوبت، 5 گرم از هر نمونه تولیدی پودرها در آون با دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرارگرفته و در زمان‌های مختلف توزین شد تا زمانی که تغییر وزن مشاهده نشد (AOAC, 2005). در نهایت با داشتن وزن اولیه و وزن خشک نمونه‌ها ، درصد رطوبت طبق معادله(2) مشخص شد.

$$\% \text{ moisture content (wet basis)} = (w_1 - w) / w_1 \times 100 \quad (2)$$

moisture content (wet basis)%: درصد رطوبت پودرها بر پایه مرطوب

w_1: وزن اولیه

w: وزن خشک

1 Anhui Minmetals Development Co. Ltd

2 Qinhuangdao Lihua Starch Co. Ldt

دانسیته توده پودر

برای محاسبه دانسیته توده‌ای پودرها، 2 گرم از آن‌ها توزین شده و در استوانه مدرج 10 میلی‌لیتری ریخته شد وسه بار به آن ضربه زده شد تا پودرهای چسبیده به دیواره جدا شده و در کف استوانه متراکم شود. حجمی که این مقدار پودر دارد، توسط ارتفاعی که در استوانه مدرج بالا آمده بود، محاسبه شده و مقدار دانسیته توده‌ای به‌صورت معادله (3) محاسبه شد (Goula *et al.*, 2012).

$$m \ / \ v = \rho \qquad (3)$$

ρ: دانسیته توده (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

m: وزن پودر (گرم)

v: حجم وزن مشخص از آن پودر (سانتی‌متر مکعب)

حلالیت پودر

شاخص حلالیت در آب[1] تمام نمونه‌های پودر بر اساس روش کانو و همکاران (2005) انجام شد. به‌طور مشخص، 50 میلی‌لیتر آب مقطر به یک بشر 200 میلی‌لیتری انتقال داده شد و 5 گرم پودر به ظرف اضافه شد و سپس بر روی هم‌زن مغناطیسی با سرعت 800 دور در دقیقه برای مدت 5 دقیقه در دمای اتاق (25 درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. مخلوط بدست آمده با سرعت 3000 دور در دقیقه برای مدت 5 دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس 25 میلی‌لیتر از مایع رویی[2] به یک پتری دیش از قبل توزین شده انتقال یافت و در آون با دمای 105 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. درصد حلالیت بر اساس وزن سوپرناتانت خشک شده در برابر وزن پودر اولیه طبق معادله (4) تعیین شد.

$$\%Solubility = s \ / \ m \times 100 \qquad (4)$$

Solubility%: درصد حلالیت

s: وزن سوپرناتانت خشک شده (گرم)

m: وزن پودر اولیه (5 گرم)

آنالیز لیکوپن پودر

مقدار لیکوپن (میکروگرم بر گرم مواد جامد) به‌وسیله روش اسپکتروفتومتری بر اساس استخراج در پترولیوم اتر در طول موج 505 نانومترتوسط یک اسپکتروفتومتر مرئی- ماوراءبنفش تعیین شد (اسپکتروفتومتر مرئی- ماوراءبنفش T80 شرکت پی‌جی اینسترومنتس انگلیس). 1 گرم از نمونه پودر با دقت توزین شد سپس با 60 میلی‌لیتر پترولیوم اتر و 75 میلی‌لیتر استون (دمای 100-65 درجه سانتی‌گراد) مخلوط شده و به مدت 5 دقیقه هم زده شدند. مخلوط به‌وسیله پشم‌شیشه برای جلوگیری از ورود مواد جامد صاف شد و به یک قیف جداساز 500 میلی‌لیتری انتقال داده شد. عصاره استخراج شده سه مرتبه با آب مقطر شسته شد، سپس فاز زیرین دور ریخته شد و فاز رویین با 20 میلی‌لیتر متانول خلوص 90 درصد به مدت 30 ثانیه مخلوط شد. پس از آن فاز زیرین دور ریخته شده و فاز رویین با 20 میلی‌لیتر KOH20 درصد در متانول به مدت 30 ثانیه مخلوط شد. فاز زیرین دور ریخته و فاز رویین دوباره با متانول خلوص 90 درصد به‌مدت 30 ثانیه هم زده شد. فاز زیرین دور ریخته و فاز رویین سه مرتبه با آب مقطر شسته شد. در نهایت عصاره استخراج شده با پترولیوم اتر به حجم رسانده شد و فوراً جذب آن خوانده شد و با کمک منحنی استاندارد مقدار لیکوپن به‌دست آمد (Goula *et al*., 2005; Gould *et al*., 1988).

آنالیز ریزساختار پودر

برای بررسی ساختار و شکل پودرهای تولید شده از میکروسکوپ الکترونی رویشی[3] (PS230، پمترون، کره جنوبی) استفاده شد. بدین منظور مقدار کافی نمونه توسط لایه نازکی از طلا تحت شرایط خلأ پوشش داده شد و سپس درون دستگاه قرار گرفت. ولتاژ دستگاه 10KV و بزرگنمایی عکس‌ها 500× بودند (Solval *et al.*, 2012; Bhusari *et al.*, 2014).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

پس از انجام پیش‌تیمارهای اولیه و به‌دست آوردن دامنه مناسب متغیرهای مستقل، روش سطح پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای تولید پودر شامل دمای هوای ورودی خشک‌کن (120، 150 و 180 درجه سانتی‌گراد) و غلظت حامل (25، 37/5 و 50 درصد) بر مقدار لیکوپن، راندمان تولید پودر و خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر تولیدی به‌کاربرده شد. تیمارها در 11 آزمایش بر اساس طرح CCD شامل 3 تکرار در نقطه مرکزی چیده شد (جدول1). آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها، به کمک نرم‌افزارهای Design-Expert 7.0.0 و Microsoft excel 2013 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی اثرات متغیرها توسط روش سطح پاسخ

آنالیز واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌دار متغیرهای فرآیند بر روی هر یک از پاسخ‌ها انجام شد. توابع پاسخ در مورد پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از مدل‌های مختلف (خطی، دوفاکتوره و درجه دوم[4]) بر اساس ضریب همبستگی و ضریب همبستگی

1 Water Solubility Index
2 Supernatant
3 Scanning Electron Microscope (SEM)
4 Quadratic Model

تنظیم‌شده مقایسه شدند. به‌صورتی که مدلی که دارای بیش‌ترین مقادیر این فاکتورها باشد دارای قدرت پیش‌بینی بالا و دقت بیشتری خواهد بود. آنالیز واریانس برای تعیین عدم برازش[1] و معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و برهم‌کنش متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته صورت گرفت. اگر مقدار P برای آزمون عدم برازش در ANOVA، بزرگ‌تر مساوی 0/05 باشد، به معنای کافی بودن مدل برای پیش‌بینی پاسخ مورد نظر می‌باشد.

جدول 1- تیمارهای طراحی‌شده توسط طرح مرکب مرکزی

تیمار	دما (°C)	غلظت (٪ وزنی/و زنی)
1	150	37/5
2	150	25
3	150	50
4	180	37/5
5	120	37/5
6	180	50
7	120	25
8	150	37/5
9	120	50
10	180	25
11	150	37/5

بررسی راندمان تولید پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) راندمان تولید پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر میزان راندمان تولید پودر در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار نبود. بیش‌ترین و کمترین مقدار راندمان به ترتیب مربوط به تیمارهای 50°C، 180 درصد وزنی/ وزنی و 120°C، 37/5 درصد وزنی/ وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به‌ترتیب برابر 49/81 درصد و 28/3 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر 0/5075 بود. معادله (5) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی راندمان تولید پودر را نشان می‌دهد، که در آن p (راندمان تولید پودر)، T (دما) و C (غلظت حامل) است.

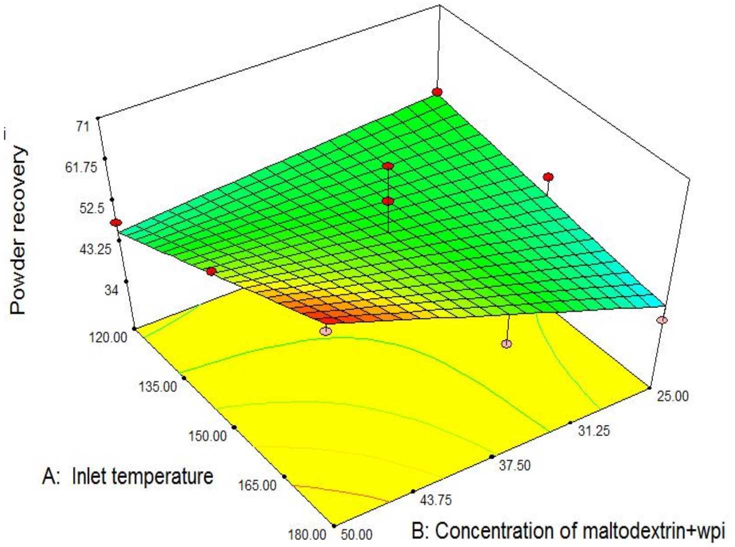
شکل 1 اثر متغیرهای مورد بررسی را بر راندمان تولید پودر نشان می‌دهد. راندمان تولید پودر یکی از شاخص‌های اصلی عملکرد خشک کن پاششی است. با افزایش دمای ورودی خشک کن راندمان تولید پودر افزایش یافته است که این امر می‌تواند. نتایج بررسی نشان داد که با افزایش دما به دلیل شارش بالاتر فرآیندهای انتقال حرارت و جرم و کاهش احتمالی برخورد ذرات خشک شده به دیواره خشک کن باشد (Tonon *et al*., 2008; Goul *et al*., 2005b).

با این حال پاپاداکیس و همکاران (2006)، نشان دادند که با افزایش دمای هوای ورودی راندمان تولید پودر فرآیند خشک کردن کنسانتره آب کشمش کاهش می یابد. این کاهش راندمان تولید پودر به دلیل مشکلات چسبندگی و به این معنی است که دمای خشک کردن بالاتر از دمای انتقال شیشه ای آن است. نتایج مشابهی در افزایش راندمان پودر با افزایش دمای هوای ورودی توسط کای و همکاران (2000)، بانات و همکاران (2002)، فضائلی و همکاران (2012) و تونون و همکاران (2008)، که به ترتیب بر روی پودر بتاسیانین آمارانتوس ، رب گوجه فرنگی، آب توت‌سیاه و آکایی کارکرده اند مشاهده شده است. راندمان پودر با افزایش غلظت حامل نیز افزایش یافت. این افزایش راندمان تولید پودر را می‌توان ناشی از کاهش چسبندگی و رسوبات ذرات پودر بر دیواره محفظه خشک‌کن مرتبط دانست. یکی دیگر از عوامل ممکن است به دلیل افزایش برآیند دمای انتقال شیشه‌ای خوراک با افزایش غلظت حامل باشد. دمای انتقال شیشه‌ای برای مالتودکسترین با دکستروز اکی‌والان 20 نزدیک به 141 درجه سانتی‌گراد، صمغ عربی 160- 232 درجه سانتی‌گراد و پروتئین آب پنیر 153 درجه سانتی‌گراد است (Boonyai *et al*., 2004; Nurhadi *et al*., 2005).

نتایج مشابهی در افزایش راندمان پودر با افزایش غلظت حامل توسط پنگ و همکاران (2013)، کاراسلان و دالگیک (2012) و فوندچاندانگ و همکاران (2010)، که به‌ترتیب بر روی پودر آب‌لیمو، آرد سیب‌زمینی شیرین ارغوانی، عصاره شیرین‌بیان و آب زنجبیل کارکرده‌اند گزارش شده است. هم‌چنین کوروزووا و همکاران (2009) و شرستا و همکاران (2007)، به‌ترتیب نتایج مشابهی با پودر هیدرولیز شده پروتئین گوشت مرغ و پودر آب پرتقال دست یافتند. نتایج مشابهی به‌وسیله فانگ و همکاران (2012)، که بر روی خشک کردن پاششی آب‌میوه بایبری با استفاده از پروتئین آب‌پنیر و مالتودکسترین کارکرده اند مشاهده شده است. تا حد زیادی راندمان پودر با پروتئین افزایش یافته است که ممکن است به دلیل مهاجرت پروتئین در میان آب و هوا و تشکیل یک فیلم پروتئینی قوی باشد که زمانی که در معرض هوای داغ و خشک قرار می¬گیرد تبدیل به یک سطح شیشه‌ای می‌شود. پوست تشکیل‌شده قادر است بر به‌هم پیوستن قطرات و انعقاد آن‌ها و هم‌چنین بر فعل و انفعالات چسبندگی ذرات در محفظه خشک‌کن غلبه کند. این فیلم تشکیل شده ممکن است نسبتاً دمای انتقال شیشه‌ای بالاتری داشته باشد که می‌توانند برای غلبه بر ذرات چسبنده در حالت شیشه‌ای باقی بماند (Adhikari *et al*., 2006).

1 Lack of Fit

$$p = +142/74212 - 0/71061 \times T - 2/90800 \times C + 0/022333 \times T \times C \quad (5)$$

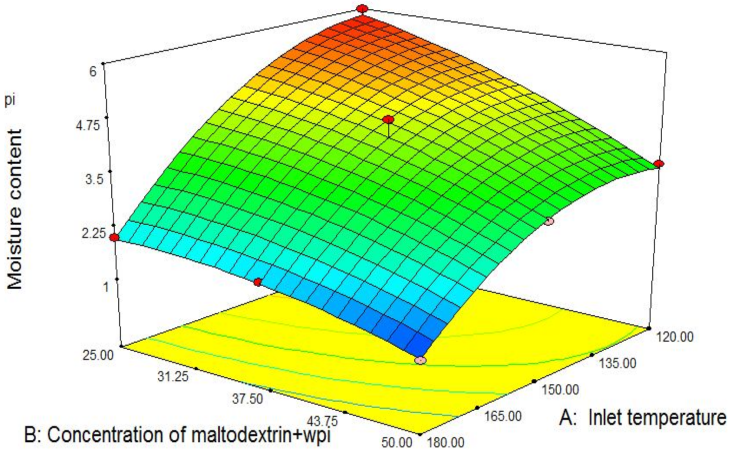


شکل 1- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل بر راندمان تولید پودر

بررسی درصد رطوبت پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مقدار رطوبت پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر مقدار رطوبت در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رطوبت مربوط به تیمارهای 120 °C، 25درصد وزنی/ وزنی و 180°C، 50 درصد وزنی/ وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل درجه دوم و به ترتیب برابر 96/4 درصد و 92/79 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر 0/9203 بود. معادله (6) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی درصد رطوبت را نشان می‌دهد، که در آن MC (مقدار رطوبت)، T (دما) و C (غلظت حامل) است.

$$MC = -3/84912 + 0/20012 \times T - 0/097965 \times C + 1/06667 \times 10^{3} \times T \times C - 9/70760 \times 10^{4} \times T^{2} - 1/75158 \times 10^{3} \times C^{2} \quad (6)$$



شکل 2- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل بر درصدرطوبت پودر

مقدار رطوبت یک ویژگی ضروری برای تعیین پایداری و ذخیره‌سازی پودر است (Phisut, 2012). واضح است که در دماهای پایین‌تر خشک کردن نسبت به دماهای بالاتر ناکامل‌تر است که این به‌دلیل کاهش سرعت انتقال حرارت و جرم است (Stout *et al.*, 2006). همان‌طور که در شکل 2 ملاحظه می‌شود مقدار رطوبت پودر با افزایش دمای ورودی خشک‌کن کاهش می‌یابد. اختلاف حرارت زیاد بین محیط خشک کردن و ذرات، آهنگ انتقال حرارت به ذرات را بالا خواهد برد که یک نیروی محرکه‌ای برای حذف رطوبت فراهم می‌کند. زمانی‌که خشک کردن توسط هوا انجام می‌شود دما یک نقش مهم ثانویه را ایفا می‌کند. این روند باید طی شود یا رطوبت یک فضای اشباعی را در سطح ذرات ایجاد می‌کند. این شرایط نرخ حذف آب را کند می‌کند. هوای داغ‌تر رطوبت بیش‌تری را قبل از رسیدن به‌حالت اشباع در خود نگه می‌دارد (Goula *et al.*, 2010). نتایج مشابهی در کاهش رطوبت با افزایش دمای ورودی خشک‌کن توسط کوک و همکاران (2007)، راتس وهمکاران (2007) و گرابووسکی و همکاران (2006)، که به‌ترتیب بر روی پودر آب هندوانه، سدیم دیکلوفناک[1] و سیب‌زمینی شیرین کارکرده‌اند مشاهده شده است. با توجه به شکل 2 با افزایش غلظت حامل مقدار رطوبت کاهش می‌یابد. این کاهش ممکن است به این دلیل باشد که با افزایش غلظت حامل مقدار مواد جامد کل خوراک افزایش یافته که باعث کاهش رطوبت کل برای تبخیر می‌شود. نتایج مشابهی توسط کوروزووا و همکاران (2009)، فضائلی و همکاران (2012) و خا و همکاران (2010)، که به‌ترتیب با پودر هیدرولیز شده گوشت، پودر آب توت سیاه و پودردانه Gac کارکرده‌اند مشاهده شده است. اما گولا و همکاران (2010)، نشان دادند که با افزایش غلظت مالتودکسترین، رطوبت پودر آب‌پرتقال افزایش می‌یابد. دلیل آن‌ها بر این بود که برای مولکول‌های آب بسیار دشوار است که از مولکول‌های بزرگ مالتودکسترین عبور کنند و خارج شوند.

بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مقدار دانسیته توده‌ای پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر دانسیته توده در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار نبود. بیش‌ترین و کم‌ترین دانسیته توده‌ای مربوط به تیمارهای 150°C، 37/5 درصد وزنی- وزنی و 180°C، 50 درصد وزنی- وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به‌ترتیب برابر 34/76 درصد و 6/8 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر0/0606 بود. معادله (7) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی دانسیته توده را نشان می‌دهد.

بررسی دانسیته توده پودر

در معادله 7، BD (دانسیته توده)، T (دما) و C (غلظت حامل) است. دانسیته توده، تراکمی از ماده است زمانی که آن ماده بسته‌بندی شده یا به‌صورت فله‌ای انباشته شده است. همان‌طورکه در شکل3 مشاهده می‌شود با افزایش دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل دانسیته توده نیز کاهش می‌یابد. دانسیته با افزایش غلظت مالتودکسترین کاهش می‌یابد. این اثر ممکن است به این دلیل باشد که افزودن مالتودکسترین چسبیدن ذرات ترموپلاستیکی را به حداقل می‌رساند. علاوه بر این، افزایش در غلظت مالتودکسترین ممکن است باعث یک افزایش در حجم هوای محبوس شده در ذرات شود، چون در سطح ذرات تشکیل یک لایه را می‌دهد (Kwapińska *et al*,. 2005). ذراتی که روی آن‌ها لایه تشکیل شده است اغلب حاوی حباب‌های هوا هستند، که می‌تواند به علت وجود هوا در خوراک اولیه باشد یا در طول پاشش جذب شده باشد. عموماً، افزایش در حجم هوای محبوس شده سبب کاهش در دانسیته ظاهری ذرات می‌شود و این دانسیته ظاهری در درجه اول تعیین‌کننده دانسیته توده پودر است (Goula *et al.*, 2010). نتایج مشابهی در ارتباط با پودر آب توت سیاه، پودر آب انار، پودر رب گوجه فرنگی و پودر پالپ تمبر هندی گزارش شده است (Fazaeil *et al.*, 2012; Yousefi *et al.*, 2011; Banat *et al.*, 2002 Bhusari *et al.*, 2014).

دانسیته توده با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن کاهش می‌یابد. این امر به دلیل آن است که آهنگ تبخیر سریع‌تر می‌شود و ذرات خشک شده ساختار متخلخل به‌خود می‌¬گیرند. والتون (2000)، گزارش کرد که افزایش در دمای ورودی معمولاً یک کاهشی را در دانسیته توده¬ و دانسیته ذره‌ای سبب می‌شود، و تمایل زیادی برای ذراتی که به شکل توخالی درآیند وجود دارد.

بررسی حلالیت پودر

در معادله 8، S (حلالیت)، T (دما) و C (غلظت حامل) است. بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مقدار حلالیت پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر حلالیت پودر در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار حلالیت مربوط به تیمارهای 180°C، 50 درصد وزنی- وزنی و 120°C، 25 درصد وزنی- وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به‌ترتیب برابر 74/29 درصد، 63/27 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر 0/1879 بود. معادله (8) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی حلالیت پودر را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود حلالیت پودرها با

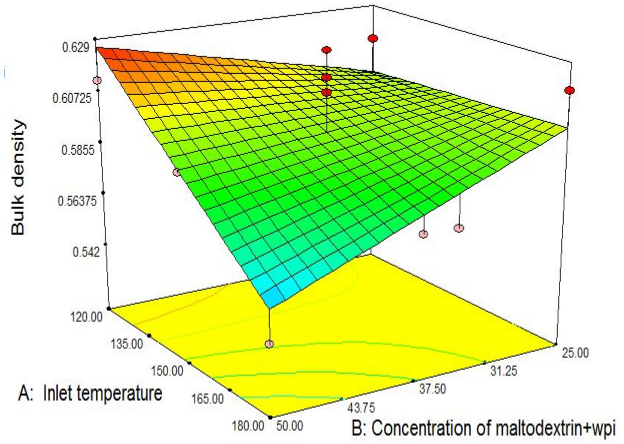
1 Sodium Diclofenac

افزایش دمای ورودی افزایش می‌یابد. زیرا افزایش دما باعث افزایش اندازه ذرات شده و ذرات درشت با تخلخل بالا سریع‌تر در آب حل می‌شوند، به‌عبارتی آب راحت‌تر در آن‌ها نفوذ می‌کند، اما ذرات ریز روی آب شناور باقی می‌مانند (Walton, 2000).

مقادیر حلالیت به‌دست آمده در این پژوهش در مقایسه با پودر آب آناناس که در حدود 81/56 درصد بود بسیار کمتر است (Abadio *et al.*, 2004). البته de Sousa و همکاران (2008)، مقدار حلالیت پودر گوجه‌فرنگی را 17/65 تا 26/73 درصد به‌دست آوردند. بنابراین، این مقادیر کم حلالیت پودر گوجه‌فرنگی به‌دلیل مقادیر پایین قند در مقایسه با بیشتر آب میوه‌ها است، و هم‌چنین به علت وجود کاروتنوئیدها که ترکیبات هیدروفوبی هستند. نتایج مشابهی توسط آل آشه (2003) و گولا و همکاران (2005a)، که بر روی پودر گوجه‌فرنگی کارکرده‌اند مشاهده شده است.

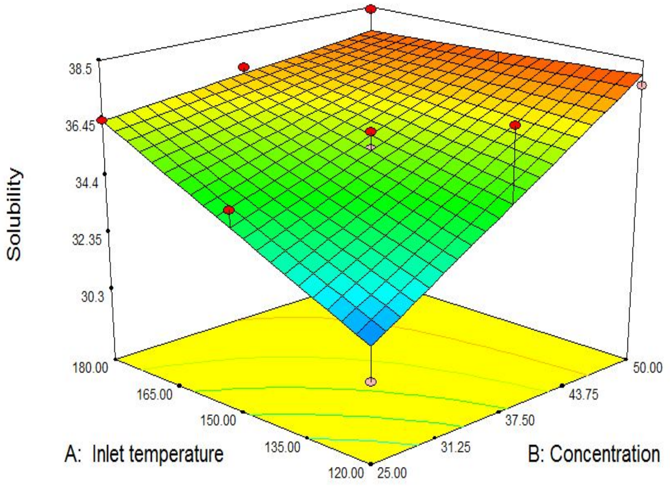
با افزایش غلظت حامل، میزان حلالیت نیز افزایش می‌یابد. این افزایش به علت حلالیت بالای حامل در آب است و عمدتاً از مالتودکسترین به‌علت حلالیت بالای آن در آب در خشک کردن پاششی مواد غذایی به‌عنوان حامل استفاده می‌شود (Cano *et al.*, 2005; Grabowski *et al.*,2006).

$$BD = +0/41792 + 1/29444 \times 10^{3} \times T + 6/97333 \times 10^{3} \times C - 4/93333 \times 10^{5} \times T \times C \quad (7)$$



شکل 3- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل بر دانسیته توده پودر

$$S = +5/19091 + 0/16667 \times T + 0/67200 \times C - 3/46667 \times 10^{3} \times T \times C \quad (8)$$

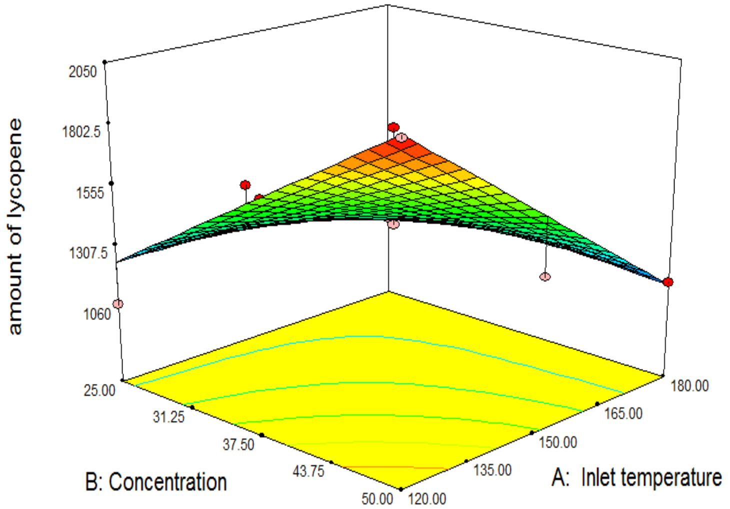


شکل 4- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل بر حلالیت پودر

بررسی مقدار لیکوپن پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مقدار لیکوپن پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر مقدار لیکوپن پودر در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار لیکوپن به ترتیب مربوط به تیمارهای $120^{\circ}C$، 50 درصد وزنی - وزنی و $12^{\circ}C$، 25 درصد وزنی - وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به‌ترتیب برابر 72/42 درصد و 60/60 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر 0/6298 بود. معادله (9) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی مقدار لیکوپن پودر را نشان می‌دهد، که در آن Lycopene (مقدار لیکوپن پودر)، T (دما) و C (غلظت حامل) است.

$$Lycopene = -1392/54167 + 15/25911 \times T + 105/49760 \times C - 0/61111 \times T \times C \quad (9)$$



شکل 5- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل برمقدار لیکوپن پودر

همان‌طور که در شکل 5 مشاهده می‌شود مقدار لیکوپن پودر تولیدی با افزایش غلظت حامل، افزایش و با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن کاهش می‌یابد. مقدار لیکوپن در رب گوجه‌فرنگی با بریکس 36/5 برابر 3858/51 میکروگرم بر گرم مواد جامد کل بود، درحالی‌که در پودر رب گوجه‌فرنگی تولید شده از 1061/18 تا 2032/29 میکروگرم بر گرم مواد جامد کل متغیر بود. مقادیر کاهش لیکوپن متناسب با افزایش دمای هوای ورودی بود.

میزان واکنش تخریب در مواد غذایی طی خشک کردن عمدتاً توسط دما کنترل می‌شود. برای تمام انواع واکنش‌های شیمیایی، ثابت سرعت تابعی از دما است چون توسط انرژی فعال‌سازی کنترل می‌شود. سرعت تخریب نه تنها تحت تأثیر دما است بلکه توسط رطوبت و در نتیجه فعالیت آبی مواد غذایی، نور و محتوای اکسیژن محلول نیز تأثیر می‌پذیرد. عموماً مقادیر ثابت سرعت واکنش‌های تخریب تحت خلأ و در محیط تاریک کم‌ترین و در معرض هوا و نور بیش‌ترین هستند و این تأییدکننده اثرات سوء نور و اکسیژن است (Sharma *et al*., 1996). به‌طورکلی، واکنش‌های شیمیایی کندتر می‌شوند چون فعالیت آبی کاهش می‌یابد (Karel, 1979). همان‌طور که در طی خشک کردن محصول دما افزایش، درحالی‌که فعالیت آبی کاهش می‌یابد، ثابت سرعت ممکن است ابتدا زمانی که اثر دما غالب است افزایش یابد، درحالی‌که ممکن است بعداً در زمانی که اثر کاهش فعالیت آبی فاکتور غالب می‌شود کاهش یابد (Downey, 1977).

تخریب لیکوپن در محصولات گوجه‌فرنگی طی تیمارهای حرارتی به‌حضور اکسیژن، نور، مقدار رطوبت و درجه حرارت محصول وابسته است و میزان این وابستگی به‌شدت تحت تأثیر شکل محصول است (Goula *et al*., 2006).

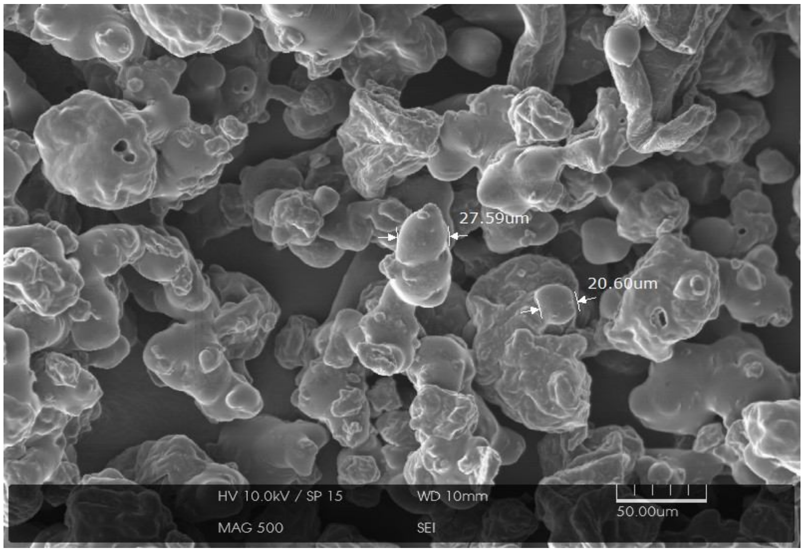
نتایج مشابهی توسط زانونی و همکاران (1999)، میکی و همکاران (1970)، کول وهمکاران (1957)، شرما و همکاران (1996)، بوسکوویچ (1979) و گولا و همکاران (2005)، که به‌ترتیب بر روی خشک کردن قطعه‌های گوجه‌فرنگی، آب گوجه‌فرنگی، پالپ گوجه‌فرنگی، نمونه‌های گوجه‌فرنگی، محصولات گوجه‌فرنگی و پودر گوجه‌فرنگی کارکرده‌اند و همگی به نتایج یکسانی در خصوص کاهش مقدار لیکوپن با افزایش دمای خشک کردن دست یافتند، مشاهده شده است. با افزایش غلظت حامل طبیعی است که به‌دلیل نقش محافظتی آن و تشکیل دیواره در اطراف لیکوپن درصد تخریب

لیکوپن آن کاهش یابد.

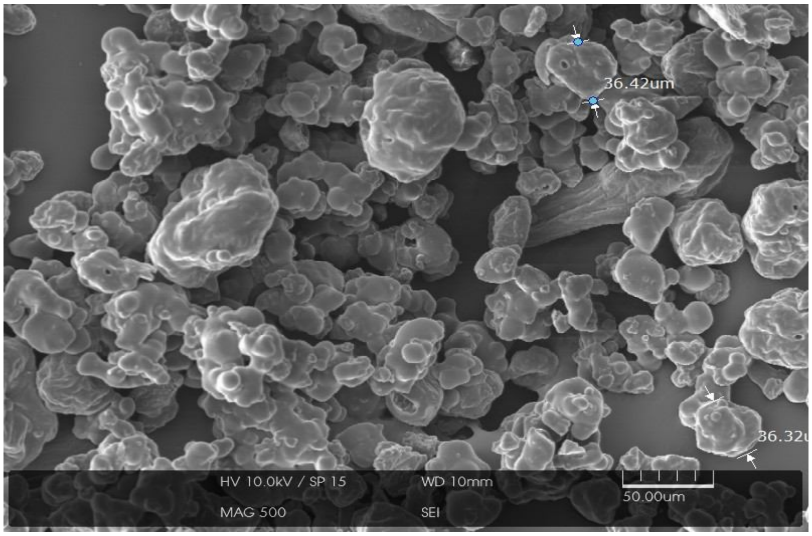
بررسی ریز ساختار و شکل پودر

در طول چند دهه گذشته با توجه به اینکه تعداد زیادی از پدیده‌های مهم کنترل خواص پودرها در زیر مقیاس 100 میکرون اتفاق می‌افتد ساختار ریز پودرها به‌طور گسترده مطالعه شده است (Aguilera, 2005).

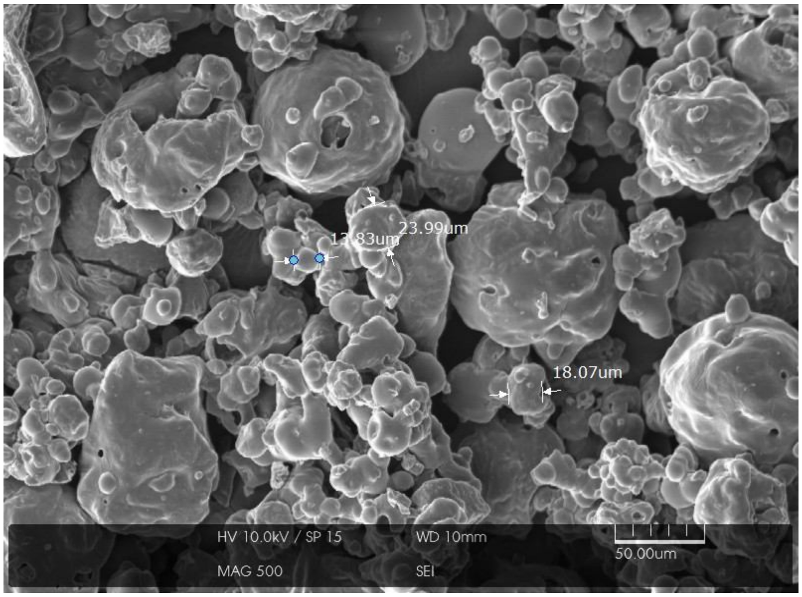
شکل‌های 6 ، 7 و 8 تصاویر پودرهای رب گوجه‌فرنگی گرفته‌شده توسط میکروسکوپ الکترونی رویشی با مالتودکسترین در ترکیب با ایزوله پروتئین آب‌پنیر 25% در دماهای مختلف را بابزرگ‌نمایی 500× نشان می‌دهد.



شکل 6- تصاویر SEM پودر، غلظت حامل 25%، دمای ورودی خشک‌کن □ 120 با بزرگ‌نمایی 500



شکل7 - تصاویر SEM پودر، غلظت حامل 25%، دمای ورودی خشک‌کن □150 با بزرگ‌نمایی 500



شکل8- تصاویر SEM پودر، غلظت حامل 25%، دمای ورودی خشک‌کن □180 با بزرگ‌نمایی 500

با توجه به شکل‌ها مشاهده شد که تعداد ذرات در یک مقدار معین پودر با افزایش در دمای ورودی افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط تونون و همکاران (2008)، گزارش شده است. پودرهایی که در دمای150°C تولید شده‌اند دارای سطح صاف‌تر و شکل‌های کروی بیشتری هستند. نتایج مشابهی توسط سالوا و همکاران (2012)، که بر روی پودر آب طالبی کار کرده‌اند مشاهده شده است.

چروکیدگی بالایی در پودرهایی که در دمای 180°C تولید شده بودند مشاهده شد. این اتفاق ممکن است در ارتباط با انتقال رطوبت در طی دوره کاهش سرعت باشد (Walton, 2000). در سرعت ثابت خشک کردن، سرعت نفوذ آب از داخل به سطح ذره برابر سرعت تبخیر سطح است. زمانی که قطرات به مقدار رطوبت بحرانی می‌رسند، یک پوسته خشکی در سطح ماده غذایی ایجاد شده و سرعت خشک کردن به سرعت کاهش می‌یابد. این ذرات تمایل به متورم شدن دارند و زمانی که تبخیر در دماهای بالا طی دوره کاهش سرعت اتفاق می‌افتد می‌شکنند (Gharsallaoui *et* Oakley, 1997 *al*., 2007; Rosenberg *et al*.,1988;). آبن و همکاران (2009) و کریشنان و همکاران (2005)، گزارش کردند که پودرهای آب‌میوه‌ها در دمای 180 °C و 190°C یک پوسته چروکیده دارند.

بهینه سازی

شرایط بهینه تولید پودر رب گوجه‌فرنگی توسط خشک‌کن پاششی برای دست‌یابی به حداقل رطوبت، دانسیته توده‌ای و حداکثر راندمان تولید، مقدار لیکوپن و حلالیت مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق محدوده دمای ورودی (120-180°C) و غلظت حامل (50 - 25 درصد) انتخاب شدند. در نقطه بهینه، دمای هوای ورودی 150 °C و غلظت حامل 50 درصد بود. در این نقطه راندمان تولید، مقدار رطوبت، دانسیته توده ، حلالیت و مقدار لیکوپن پودر به‌ترتیب برابر 60/62%، 2/77%، 0/579 گرم بر میلی‌لیتر، 37/29% و 1371/98 میکروگرم بر گرم بودند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تولید پودر رب گوجه‌فرنگی با استفاده از خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی با هدف بیش‌ترین راندمان تولید و حداقل تغییر در خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مقدار لیکوپن آن با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی انجام گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی راندمان تولید، حلالیت، تعداد ذرات، چروکیدگی و ترک‌خوردگی پودر افزایش و مقدار رطوبت، دانسیته توده ومقدار لیکوپن کاهش پیدا کرد. از طرفی با افزایش غلظت حامل راندمان تولید پودر، مقدار لیکوپن، حلالیت، افزایش و مقدار رطوبت و دانسیته توده کاهش پیدا کرد. شرایط بهینه عملیات در دمای 150°C و غلظت حامل 50 درصد وزنی- وزنی حاصل شد.

منابع

Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V., & Oliveira, V. M. (2004). Physical properties of powdered

pineapple (*Ananas comosus*) juice—effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64(3), 285-287.

Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., & Troung, V. (2004). Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. *Journal of Food Engineering*, 62(1), 53-68.

Aguilera, J. M. (2005). Why food microstructure. *Journal of Food Engineering*, 67(1), 3-11

Al-Asheh, S., Jumah, R., Banat, F., & Hammad, S. (2003). The use of experimental factorial design for analysing the effect of spray dryer operating variables on the production of tomato powder. *Food and bioproducts processing*, 81(2), 81-88.

Anguelova, T., & Warthesen, J. (2000). Lycopene stability in tomato powders. *Journal of Food Science*, 65(1), 67-70.

AOAC International, (2005). Official Methods of Analysis of AOAC. AOAC *International, Gaithersberg*, MD.

Baloch, W. A., Khan, S., & Baloch, A. K. (1997). Influence of chemical additives on the stability of dried tomato powder. *International journal of food science & technology*, 32(2), 117-120.

Banat, F., Jumah, R., Al-Asheh, S., & Hammad, S. (2002). Effect of operating parameters on the spray drying of tomato paste. *Engineering in life sciences*, 2(12), 403-407.

Bhandari, B. R., & Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40(1), 71-79.

Bhandari, B. R., Datta, N., & Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying technology*, 15(2), 671-684.

Bhandari, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, E. D., & Lebert, A. (1993). Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technology*, 11(5), 1081-1092.

Bhandari, B., & Howes, T. (2005). Relating the stickiness property of foods undergoing drying and dried products to their surface energetics. *Drying Technology*, 23(4), 781-797.

Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, 354-364.

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

Bošković, M. A. (1979). Fate of lycopene in dehydrated tomato products: carotenoid isomerization in food system. *Journal of Food Science*, 44(1), 84-86.

Cabral, A. C. S., Said, S., & Oliveira, W. P. (2009). Retention of the enzymatic activity and product properties during spray drying of pineapple stem extract in presence of maltodextrin. *International Journal of Food Properties*, 12(3), 536-548.

Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried Amaranthus betacyanin pigments. *Journal Of Food Science-Chicago-*, 65(7), 1248-1252.

Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 420-428.

Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23(3), 657-668.

Cole, E. R., & Kapur, N. S. (1957). The stability of lycopene. I.-Degradation by oxygen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 8(6), 360-365.

de Sousa, A. S., Borges, S. V., Magalhães, N. F., Ricardo, H. V., & Azevedo, A. D. (2008). Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. *Braz. Arch. Biol. Tech*, 51(4), 807-814.

Downey, W. K. (1977). Food quality and nutrition, London: Applied Science Publishers. pp. 281–295.

Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48(2), 478-483.

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

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121.

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2003). Spray drying performance of a laboratory spray dryer for tomato powder preparation. *Drying Technology*, 21(7), 1273-1289.

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

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005b). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT-Food Science and Technology*, 38(5), 479-487.

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

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. Innovative *Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.
Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., & Kazakis, N. A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22(5), 1129-1151.
Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C., & Nikas, V. A. (2006). Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, 74(1), 37-46.
Gould, W. A., & Gould, R. W. (1988). Physical evaluation of color. Total quality assurance for the food industries, CTI Publications, Maryland, *Baltimore*, 231-233.
Grabowski, J. A., Truong, V. D., & Daubert, C. R. (2006). Spray‐Drying of Amylase Hydrolyzed Sweetpotato Puree and Physicochemical Properties of Powder. *Journal of food science*, 71(5), E209-E217.
Greensmith, M. (1998). Practical dehydration. *Woodhead Publishing*.
JU, C., Stout, L. E., & Busche, R. M. (1951). Spray drying of santomerse. *Chemical Engineering Progress*, 47(1), 29-38.
Jumah, R. Y., Tashtoush, B., Shaker, R. R., & Zraiy, A. F. (2000). Manufacturing parameters and quality characteristics of spray dried jameed. *Drying Technology*, 18(4-5), 967-984.
k. Masters, Spray Drying Handbook, 4th, ed., John Wiley and Sons, new York 1985.
Karaaslan, İ., & Dalgıç, A. C. (2014). Spray drying of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3014-3025.
Karel, M. (1979). Prediction of nutrient losses and optimization of processing conditions. In Nutritional and safety aspects of food processing (pp. 233-263). *Marcel Dekker* New York.
Kaushik, V., & Roos, Y. H. (2007). Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic–sucrose–gelatin systems. LWT-*Food Science and Technology*, 40(8), 1381-1391.
Kha, T. C., Nguyen, M. H., & Roach, P. D. (2011). Effects of pre-treatments and air drying temperatures on colour and antioxidant properties of Gac fruit powder. *International Journal of Food Engineering*, 7(3).
Kjaergaard, O. (1974). U.S. Patent No. 3,857,332. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
Krishnan, S., Bhosale, R., & Singhal, R. S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*, 61(1), 95-102.
Kurozawa, L. E., Park, K. J., & Hubinger, M. D. (2009). Effect of carrier agents on the physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate. *Journal of Food Engineering*, 94(3), 326-333.
Kwapińska, M., & Zbiciński, I. (2005). Prediction of final product properties after cocurrent spray drying. *Drying technology*, 23(8), 1653-1665.
Lovrić, T., Sablek, Z., & Bošković, M. (1970). Cis‐trans isomerisation of lycopene and colour stability of foam—mat dried tomato powder during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 21(12), 641-647.
Masters, K. (1979). Spray-air contact (*mixing and flow*). Spray drying handbook, 4, 263-269.
Miki, N., & Akatsu, K. (1970). Effect of heat sterilization on the color of tomato juice. Nihon Shokuhin Kogyo Gakkai, 17, 175–181.
Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 92(3), 252-258.
Nurhadi, B., Andoyo, R., & Indiarto, R. (2012). Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. *International Food Research Journal*, 19(3), 907-912.
Oakley, D. E. (1997). Produce uniform particles by spray-drying. *Chemical engineering progress*, 93(10), 48-54.

Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red–purple food colorant from Opuntia stricta fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 471-479.
Papadakis, S. E., Gardeli, C., & Tzia, C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 24(2), 173-180.
Peng, Z., Li, J., Guan, Y., & Zhao, G. (2013). Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. LWT-*Food Science and Technology*, 51(1), 348-355.
Phisut, N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19(4), 1297-1306.

Phoungchandang, S., & Sertwasana, A. (2010). Spray-drying of ginger juice and physicochemical properties of ginger powders. *Science Asia*, 36, 40-45.
Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392.
Rattes, A. L. R., & Oliveira, W. P. (2007). Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation

and properties of sodium diclofenac microparticles. *Powder Technology*, 171(1), 7-14.
Rosenberg, M., Talmon, Y., & Kopelman, I. J. (1988). The microstructure of spray-dried microcapsules. *Food Structure*, 7(1), 14.
Sharma, S. K., & Le Maguer, M. (1996). Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Research International*, 29(3), 309-315.
Shrestha, A. K., Ua-Arak, T., Adhikari, B. P., Howes, T., & Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*, 10(3), 661-673.
Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., & Liu, X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 664-669.
Solval, K. M., Sundararajan, S., Alfaro, L., & Sathivel, S. (2012). Development of cantaloupe (Cucumis melo) juice powders using spray drying technology. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 287-293.
Tang, S., TeKrony, D. M., Egli, D. B., & Cornelius, P. L. (1999). Survival characteristics of corn seed during storage: II. Rate of seed deterioration. *Crop Science*, 39(5), 1400-1406.
Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411-418.
Tsujimoto, K., Okudaira, S., & Tachi, S. (1991). Low-temperature microwave plasma etching of crystalline silicon. *Japanese journal of applied physics*, 30(12R), 3319.
Wallman, H., & Blyth, H. A. (1951). Pilot Plants. Product Control in Bowen-Type Spray Dryer. *Industrial & engineering chemistry*, 43(6), 1480-1486.
Walton, D. E. (2000). The morphology of spray-dried particles a qualitative view. *Drying Technology*, 18(9), 1943-1986.
Woo, M. W., Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., & Schuck, P. (2013). Spray drying for food powder production. *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*, 29.
Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M. (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). *Journal of food science and technology*, 48(6), 677-684.
Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., & Lavelli, V. (1998). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International*, 31(5), 395-401.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 647-662

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 662-647

Optimization of tomato paste powder efficiency production by spray dryer and evaluation of its quality characteristics

A. dezyani[1*], A. Mohammad Ziyaeifar[2], S. M. Jafari[3], M. Ghorbani[3], A. R. Sadeghi Mahoonak[3]

Received: 2015.12.22
Accepted: 2016.04.30

Introduction: High sensitivity of fruit and vegetables juices to heat has been resulted to the development of spray drying method for drying this category of products. Spray drying is a well-established and widely used method for transforming a wide range of liquid food products into powder form. The process involves spraying finely atomized solutions into a chamber where hot dry air rapidly evaporates the solution leaving the spray-dried particles. Spray-dried powders can be stored at room temperature for prolonged periods without compromising the powder's stability. Powders are cheaper to transport and easier to handle in manufacturing plants. Spray-dried powders are economical to produce compared to other processes, such as freeze-drying. Spray drying has many applications, particularly in the food, pharmaceutical and agrochemical industries. The conversion of high value food materials, such as fruit and vegetable extracts, into particulate form is not easy due to the presence of a high proportion of low molecular weight sugars in their composition which lead to the problem of stickiness. The particles stick to one another, to the dryer and to cyclone walls and remain there, forming thick wall deposits, while very little product comes out at the dryer's exit. This might lead to low product yield and operating problems. In general, the stickiness causes considerable economic loss and limits the application of spray drying on foods as well as on pharmaceutical materials. In order to reduce stickiness, different solutes have been used as carriers and coating agents for the spray drying. Some examples of these are Arabic gum, maltodextrins, starches, gelatin, methyl cellulose, gum tragacanth, alginates, pectin, silicon dioxide, tricalcium phosphate, glycerol monostearate and mixtures of some of them. Of these additives, maltodextrin offers a good compromise between cost and effectiveness. It has been found that it contributes to the retention of some food properties, such as nutrients, color and flavor, during spray drying and storage. On the other hand, the feed flow rate, the inlet and outlet air temperatures, atomizer speed, feed concentration, feed temperature and inlet air flow rate are important factors that have to be controlled in a spray drying process. Tomato paste is a typical example of a product that is very difficult to be spray dried due to the low glass transition temperature of the low molecular weight sugars present.

Materials and methods: This study was carried out to evaluate the effect of inlet air temperature of dryer (120, 150 and 180 °C) and concentration of drying aid or carrier agent of maltodexterin along with whey protein concenterate ratio of 4 to 1 (25, 37.5 and 50% w/w) on the quantitative and qualitative properties of tomato paste powder including moisture content, bulk density, solubility, powder morphology, amount of lycopene, and production efficiency. Response surface methodology was used to choose optimum conditions of the powder production process.

Results and Discussion:the results revealed that the production efficiency (not significant) and solubility (significant) were increased with increased higher inlet air temperatures of dryer; however, at these conditions moisture content (significant), bulk density (not significant) and amount of lycopene (significant) in the powder were decreased also higher concentrations of carrier agent increased the production efficiency, solubility and amount of lycopene in the powder; however, moisture content and bulk density of powder were decreased.

---

1. M. Sc., Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran..
2. Assistant Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Associate Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
(*Corresponding Author Email: ziaiifar@gau.ac.ir)

Conclusion: Optimal conditions in order to achieve maximum production efficiency, solubility, the amount of lycopene and the lowest moisture content of powder, bulk density were achieved at inlet temperature of 150°C and carrier agent concentration of (w/w) 50%.

Keywords: Tomato Paste Powder, Spray Drying, Carrier Agent of Maltodextrin with Whey Protein Isolate, Optimization

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 663-679

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 679-663

استفاده از خواص مکانیکی خمیر در پیشگویی رئولوژی خمیر، جنبه‌های کیفی، حسی، ماندگاری و ریزساختار نان: بررسی با روش‌های چند متغیره متقارن و نامتقارن

امیر پورفرزاد[*1]- مهدی کریمی[2]- زهرا احمدیان [3]- سودیه هجری ظریفی[4]- سیامک غیبی[1]

تاریخ دریافت: 1394/12/04
تاریخ پذیرش: 1395/02/04

چکیده

خواص مکانیکی خمیر نقش مهمی در صنایع پخت ایفا می‌کنند و در مواردی از قبیل تثبیت افزودنی‌ها و مطالعه تاثیر آنها بر سایر خواص خمیر و نان می‌توانند مورد توجه واقع شوند. در این پژوهش، از روش‌های چندمتغیره متقارن (تعیین ضرایب همبستگی و آنالیز مولفه‌های اصلی) و نامتقارن (سطح پاسخ و رگرسیون حداقل مربعات جزئی) به‌منظور مطالعه تاثیر اجزاء ژل بهبوددهنده بر خواص مکانیکی خمیر نان بربری، ارتباط خواص مکانیکی خمیر با سایر خواص خمیر و نان و نیز بهینه‌سازی فرمول ژل استفاده گردید. نمونه‌های ژل بهبوددهنده، محتوی 0 تا 0/5 g/100g سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول بودند. نتایج نشان داد که با توجه به تغییر مقدار و نوع اجزاء فرمولاسیون ژل، دامنه وسیعی از تغییرات در خواص مکانیکی خمیر ایجاد می‌شود و از اختلاط 0/5 g/100g سدیم استئاروئیل لاکتیلات، 0/5 g/100g داتم و 0/5 g/100g پروپیلن گلیکول بهترین حالت حاصل می‌گردد. ضرایب همبستگی بین خواص مکانیکی خمیر با خصوصیات فارینوگرافی خمیر، کیفیت، جنبه‌های حسی، پردازش تصویر و ماندگاری نان بررسی گردید. همچنین آنالیز مولفه‌های اصلی ثابت نمود که قادر به استخراج اطلاعات مناسبی است و می‌تواند به‌عنوان یک روش آسان برای تحلیل و تفسیر خواص مکانیکی خمیر و ارتباط آنها با سایر خواص خمیر و نان مورد استفاده قرار گیرد. مدل‌های رگرسیونی حداقل مربعات جزئی نیز برای تعیین ارتباط بین خصوصیات مکانیکی خمیر با خصوصیات فارینوگرافی خمیر، خصوصیات کیفی، حسی، پردازش تصویر و ماندگاری نان به‌کار برده شد. نتایج حاصل از آنالیزهای آماری نشان داد که خصوصیات مکانیکی خمیر، قادر به پیشگویی حداقل 50% از خصوصیات خمیر و نان هستند.

واژه‌های کلیدی: بافت‌سنجی خمیر، رگرسیون حداقل مربعات جزئی.

مقدمه

نان عمدتاً به‌عنوان یک منبع انرژی ارزان قیمت به‌مصرف می‌رسد و غذای اصلی مردم بسیاری از کشورهای جهان را تشکیل می‌دهد. بنابراین، در علم غلات برای بهبود خصوصیات خمیر، افزایش کیفیت و ماندگاری نان، رقابت بزرگی وجود دارد. برای رسیدن به این هدف، باید از افزودنی‌های غذایی کاربردی و مواد کمک فرایند که باعث بهبود کیفیت خمیر و نان می‌شوند، استفاده کرد (Rosell *et al.* 2001).

امولسیفایرها متعلق به ترکیبات فعال سطحی یا سورفاکتانتها هستند که هم خصوصیات مواد هیدروفیل و هم مواد لیپوفیل را دارند. کشش سطحی بین دو فاز مخلوط ناشدنی، توسط امولسیفایرها کاهش یافته و بنابراین دو مایع قادر خواهند بود تا امولسیون تشکیل بدهند. در صنعت نان خصوصیات گسترده‌ای از امولسیفایرها انتظار می‌رود از جمله افزایش ماندگاری، افزایش تردی و بهبود طعم، بهبود حجم، ایجاد و یکنواختی بافت (Kamel *et al.* 1993; Knightly 1981; Potgieter 1992). یکی از فاکتورهای موثر بر کارایی امولسیفایر، حالت فیزیکی آن است. امولسیفایرها به فرم آلفا، بهترین تاثیر را در حفظ حباب‌های هوا، سرعت مخلوط کردن و یکنواختی خمیر دارند (Howard 1972; Silva 2000). زمانی که امولسیفایر با ساختار کریستالی بتا در آب حرارت داده شود، یک فاز لایه‌ای تشکیل می‌شود. بنابراین، این لایه‌های انعطاف‌پذیر می‌توانند به آسانی سطح حباب‌ها را پوشش داده و یک فیلم پایدارکننده ایجاد کنند. در فرآیند پخت، دراثر گرما، حباب‌های هوا منبسط شده و حجم آنها افزایش می‌یابد. همچنین به علت ایجاد کانال‌های مشترک بین آنها، حباب‌ها به یکدیگر چسبیده و بزرگتر می شوند (Krog *et al.* 1997). گروه

1- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
2- دانشیار، عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.
3- دانش‌آموخته دکتری، گروه فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد.
4- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تغذیه، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد.
(* - نویسنده مسئول: Email: amir.pourfarzad@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.53614

دیگری از مواد افزودنی که بـه‌طور گسترده‌ای در صـنایع غـذایی و به‌خصوص در صنعت نانوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، پلی‌ال‌ها یا هموکتانت‌ها هستند. پلی‌ال‌هـا از طریـق هیدروژناسیون کاتالیتیـک قندهای مختلف حاصل می‌شوند. پلی‌ال‌ها فعالیت آبی را کاهش داده و احساس دهانی را بهبـود مـی‌بخشـند (Gliemmo *et al.* 2006; Lombard *et al.* 2000).

مخلـوط کـردن آب و آرد گنـدم منجـر بـه ایجـاد مـاده‌ای ویسکولاستیک (خمیر) می‌گردد کـه خـواص فیزیکـی آن وابسـتگی زیادی به بسیاری از فاکتورها و نیز تاثیر زیادی بـر خـواص ماشـینی خمیر و کیفیت محصول دارد (Navickis *et al.* 1982). کیفیت آرد، فرآیند تولید نان و برخی اجـزا از قبیـل افزودنـی‌هـا، عوامـل اصـلی تعیین‌کننـده عملکـرد خمیـر هسـتند. آزمـون‌هـای تقلیـدی سـنتی (فارینوگراف، آلویوگراف، اکستنسوگراف و آمیلوگراف) بـرای محاسـبه پارامترهای تولید نان طراحی شده‌انـد و اجـازه مـی‌دهنـد تـا کیفیـت محصول نهایی از طریق تقلید مراحل تولید نان (مخلوط کردن، تخمیر و پخت) اما با همبستگی تجربی محدودی پیش‌بینی گردد (Dreese *et al.* 1988). این آزمون‌ها برخـی خـواص فیزیکـی مهـم از قبیـل چسبندگی خمیر را در نظر نمی‌گیرند در حالی که تـاثیر عمـده‌ای بـر راحتی کار با خمیر توسط تجهیـزات جابجـایی در واحـدهای بـزرگ صنعتی دارند (Martin *et al.* 1991). در مطالعات مختلفی از دستگاه بافت‌سنج برای ارزیابی بافت خمیر استفاده شده است. در برخی موارد، به همبستگی با اجزاء گلوتن و در برخی دیگـر بـه تـاثیر پارامترهـای بافت خمیر بر کیفیت نان تولیدی اشاره شده است (Armero *et al.* 1997; Ram *et al.* 1983). اغلـب مطالعـات بافـت‌سـنجی خمیـر به‌منظور ارزیابی چسبندگی بوده‌اند؛ هـر چنـد ایـن پـارامتر، متـاثر از ویسکوالاستیسیته و پیوستگی بوده است (Dhaliwal *et al.* 1990a). ارتباط بین رفتار چسبندگی و خواص رئولوژیکی دینامیکی نیز بررسی شده است (Heddleson *et al.* 1993). پورفرزاد و همکاران (1390) از یک روش جدید در اندازه‌گیری چسبندگی و برای به حداقل رساندن تداخل سایر خواص فیزیکی خمیر استفاده نمودند.

محققان مختلفی ارتباط و همبسـتگی بـین خصوصـیات کیفـی، حسـی، مکـانیکی و پـردازش تصـویر نـان را بررسـی نمـوده‌انـد (Angioloni *et al.* 2011; Pourfarzad *et al.* 2012; Zghal *et al.* 2002). انجام اغلب این آزمون‌ها هزینه‌بـر، وقـت‌گیـر و قابلیـت تکرارپذیری پائینی دارند. در هیچ‌کدام از ایـن پـژوهش‌هـا از خـواص مکانیکی خمیر به‌عنوان عاملی برای پیشگویی سایر خصوصیات خمیر و نان استفاده نشده است. در این راستا، ایـن پـژوهش بـا اسـتفاده از روش سطح پاسخ و با هدف بررسی تاثیر اجزای ژل بهبوددهنـده بـر پارامترهای بافتی خمیر طراحی گردید. در گام بعدی، ارتباط بین ایـن پارامترها با خصوصیات بدست آمده از آزمون‌های فارینوگرافی خمیـر، کیفیت و ماندگاری نان، ارزیابی حسی و پردازش تصویر نان با استفاده از روش‌های چندمتغیره متقارن (تعیـین ضـرایب همبسـتگی و آنـالیز مولفه‌های اصلی) و نامتقارن (رگرسیون حداقل مربعات جزئـی) مـورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان نیز بـا اسـتفاده از نتـایج بدسـت آمـده، بهینه‌یابی درصد امولسیفایرهای سدیم استئاروئیل لاکتیلات و داتم و پلی‌ال پروپیلن گلیکول برای تولیـد ژلـی مناسب بـه‌منظـور بهبـود خصوصیات خمیر نان بربری، انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد

آرد ستاره از کارخانه آرد گلمکان تهیه شد. امولسیفایرهای سدیم استئاروئیل لاکتیلات (SSL) و داتـم از شـرکت ویسـتا تجـارت پایـا (تهران، ایران) تهیه گردید. پلی‌ال مـورد اسـتفاده، پـروپیلن گلیکـول (PG) بود که از شرکت شیمیایی قائم (تهران، ایران) تهیه شد. سـایر مواد مورد استفاده در آزمایشات از شرکت‌های معتبر خریداری گردید.

روش‌ها

خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد گندم و نان

ترکیبات شیمیایی آرد ستاره و نیز مقدار رطوبت نان، بـر اسـاس روش‌های استاندارد (AACC 2000) اندازه‌گیری شد.

آماده‌سازی ژل‌های بهبوددهنده

ژل ها با استفاده از امولسیفایر، آب و پلی‌ال به نسبت‌های 1:4:1 آماده شدند. در ابتدا، مخلـوط آمـاده گردیـد و سـپس تحـت شـرایط همزدن مداوم، مخلوط تا دمای 60 درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس در اثر سرد کردن، ژل‌ها تشکیل شدند.

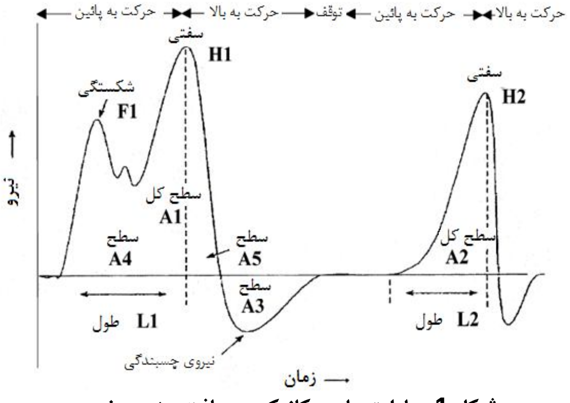
تولید خمیر و نان

نان مورد بررسی در این تحقیق نان بربری بود که مراحل تولیـد خمیر آن بدین صورت می‌باشد: مخلوط نان با 100% آرد گنـدم، 1% مخمر خشک، 2% نمک، 1% شکر، 1% شورتنینگ و آب (مقـدار لازم برای رسیدن به 400 واحـد برابنـدر) تهیـه گردیـد (Maleki *et al.* 1981). ژل امولسیفایر، قبل از اضافه کردن آب، با کلیه اجزا مخلـوط می‌گردد. پس از مخلوط کردن اجزا به مدت 15 دقیقه و با دور ثابت، خمیر مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، تخمیر اولیه (60 دقیقه در دمای 30 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسـبی 75 تـا 85%) و در ادامـه چانـه کردن (خمیر بـه چانـه‌هـای بـا وزن 200 گـرم تقسـیم‌بنـدی شـد)، شکل‌دهی و پانچ کردن انجام شد. در مرحله بعد چانـه‌هـای حاصـل تخمیر ثانویه را به مدت 20 دقیقه و در دمای 42 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 75 تا 85% سپری کردند و آخرین مرحلـه، پخـت (13

دقیقه در 260 درجه سانتی‌گراد) بود. پس از پخت، نمونه‌های نان در دمای محیط و زیر اتاق تمیز، سرد و بسته‌بندی گردیدند تا از آلودگی ثانویه جلوگیری شود و آزمایشات بعدی روی آنها انجام گردد.

تعیین خصوصیات مکانیکی خمیر

برای تعیین خصوصیات مکانیکی خمیر، بافت خمیر با استفاده از دستگاه بافت‌سنج مورد آنالیز قرار گرفت. جهت انجام این آزمون از روش Armero و همکاران (1997) استفاده گردید. برای آنالیز بافت خمیر، از روش دو مرحله‌ای آنالیز پروفایل بافت (TPA)، پروبی با قطر 5 سانتی‌متر و سل اعمال نیروی 5 کیلوگرمی استفاده گردید. قطعه‌ای 30 گرمی از خمیر در زیر پروب قرار گرفت و سرعت حرکت پروب 1 میلی‌متر در ثانیه، فاصله زمانی بین دو مرحله 75 ثانیه و میزان نفوذ 60% لحاظ گردید. خصوصیات بافتی اصلی در غیاب چسبندگی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور یک پوشش پلاستیکی بر روی خمیر قرار داده شد تا پیک منفی حاصل از چسبیدن خمیر به پروب حذف گردد. آنالیز نمودار بافت حاصل از خمیر پارامترهایی به ما می‌دهد که در بررسی خصوصیات خمیر موثر خواهند بود (شکل شماره 1). این پارامترها شامل موارد زیر می‌باشد: رزیلینس[1]: A_5/A_4; ارتجاعیت[2]: L_2/L_1; پیوستگی[3]: A_2/A_1; سفتی[4]: H_1; صمغیت[5]: $H_1×(A_2/A_1)$; قابلیت جویدن[6]: $H_1×(A_2/A_1)×(L_2/L_1)$; چسبندگی[7]: A_3. برای ارزیابی چسبندگی، به‌طور جداگانه آزمون بدون قرار دادن پوشش پلاستیکی انجام شد.



شکل 1- پارامترهای مکانیکی در بافت‌سنجی خمیر.

1 Resilience
2 Springiness
3 Cohesiveness
4 Hardness
5 Gumminess
6 Chewiness
7 Adhesiveness

آزمون خصوصیات فارینوگرافی خمیر

آزمون فارینوگرافی بر اساس روش مصوب 21-54 (AACC 2000) و توسط دستگاه فارینوگراف برابندر انجام پذیرفت. پارامترهای جذب آب آرد (درصد)، زمان گسترش خمیر (دقیقه)، مقاومت خمیر (دقیقه) و شاخص تحمل (BU) از روی منحنی فارینوگرام محاسبه گردید.

اندازه‌گیری حجم مخصوص نان

حجم مخصوص نمونه‌های نان بر اساس روش جایگزینی دانه کلزا تعیین شد (Bárcenas *et al.* 2006).

ارزیابی بافت نان

آزمون بافت‌سنجی با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (CNS, Farnell, Hertfordshire, UK) و روش پورفرزاد و همکاران (2011) مورد ارزیابی قرار گرفت. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب سیلندری شکل با ابعاد 2/5 سانتی‌متر قطر و 1/8 سانتی‌متر ارتفاع با سرعت 30 میلی‌متر در دقیقه به داخل قطعه مربعی شکل 10 سانتی‌متر در 10 سانتی‌متری بریده شده از مرکز نان، به‌عنوان شاخص سفتی نان محاسبه گردید. نقطه شروع[8] و نقطه هدف[9] به‌ترتیب 0/05 نیوتن و 30 میلی‌متر بود.

پردازش تصویر نان

برای ارزیابی رنگ پوسته، نمونه‌های نان با اسکنر، اسکن و با فرمت JPEG ذخیره شدند. تصویرگیری با نرم‌افزار فوتو اسمارت (نسخه 3/5) و رزولوشن 180 dpi انجام شد. سپس توسط نرم‌افزار ایمیج جی (نسخه 1/4)، قطعات 500 در 500 پیکسلی از مرکز نان بریده شده و از فضای رنگی RGB به Lab تبدیل و در ادامه، فاکتورهای L^*، a^* و b^* محاسبه گردید. برای بررسی سایر خصوصیات مغز نان، فرآیند آستانه‌سازی در سطح 200 و در حالت سیاه و سفید اعمال و زمینه حذف شد. پس از آنالیز اجزا، پارامترهای اندازه حفرات (نسبت تعداد حفرات به سطح کل حفرات)، دانسیته سلولی (نسبت تعداد حفرات به سطح کل تصویر) و تخلخل (نسبت سطح کل حفرات به سطح کل تصویر) بدست آمد (پورفرزاد و همکاران، 1392).

آزمون خصوصیات حسی نان

آزمون حسی با استفاده از روش پیشنهادی رجب‌زاده (1991) انجام شد. خصوصیات حسی نان از نظر فرم و شکل، خصوصیات سطح بالایی، خصوصیات سطح پائینی، پوکی و تخلخل، سفتی و

8 Trigger point
9 Target Value

نرمی بافت، قابلیت جویدن، بو، طعم و مزه توسط 10 پانلسیت آموزش دیده مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب ارزیابی صفات نیز از بسیار بد (1) تا بسیار خوب (5) بود. پس از لحاظ نمودن ضرایب رتبه هر یک از ویژگی‌ها، پذیرش کلی نیز تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری و بهینه‌سازی

در این پژوهش به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید ژل بهبوددهنده از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر[1] برای سه جزء ژل شامل سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول با حدود مشخص بالا و پائین استفاده شد. سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه در جدول 1 ذکر شده‌اند. برای طراحی آزمایش، آنالیز نتایج و بهینه‌سازی از نرم‌افزار Design-Expert (نسخه 6) استفاده شد.

جدول1- سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه

متغیر مستقل (g/100g)	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه				
		+1/6818	+1	0	-1	-1/6818
سدیم استئاروئیل لاکتیلات	SSL	0/63	0/50	0/31	0/13	0
داتم	DATEM	0/63	0/50	0/31	0/13	0
پروپیلن گلیکول	PG	0/63	0/50	0/31	0/13	0

بدین منظور معادلات ریاضی درجه دوم کامل با استفاده از آنالیز رگرسیون گام به گام پس رونده[2] بر روی متغیرهای وابسته برازش شدند. برای نشان دادن رابطه هر یک از متغیرهای وابسته در مدل رگرسیون با متغیرهای مستقل، نمودار سطوح[3] آنها به وسیله این نرم افزار ترسیم شدند. به منظور ارزیابی صحت مدل های برازش داده شده، آزمون ضعف برازش[4]، ضریب تغییرات[5]، مقادیر R^2، R^2 (adj)، ، مجموع مربع های خطای پیش بینی[6] و p ضرایب تعیین شدند. تایید تایید کارایی بهترین فرمول ارائه شده توسط مدل نیز از طریق مقایسه نتایج حاصل از تولید آن با نتایج پیشگویی شده توسط مدل مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز مولفه‌های اصلی و تعیین ضرایب همبستگی و نیز رگرسیون حداقل مربعات جزئی[7] بر روی داده‌های خواص مکانیکی خمیر و نیز نتایج حاصل از آزمون‌های فارینوگرافی خمیر، حسی، کیفی و ماندگاری نان، توسط نرم‌افزار Minitab نسخه 16 انجام گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات کیفی آرد

رطوبت، پروتئین، خاکستر، چربی، گلوتن مرطوب، درجه استخراج و عدد فالینگ آرد گندم مورد استفاده به‌ترتیب برابر با 10/52 گرم در 100 گرم، 10/8 گرم در 100 گرم، 0/79 گرم در 100 گرم، 1/76 گرم در 100 گرم، 26/7 گرم در 100 گرم، 82 گرم در 100 گرم و 407 ثانیه بود. این نتایج نشان می‌دهد که خصوصیات آرد گندم در محدوده آردهای متوسط تا قوی است که برای نان‌های مسطح ایرانی مناسب می‌باشد.

آنالیز بافت خمیر

در جدول 2، آنالیز واریانس خصوصیات مکانیکی خمیر ملاحظه می‌گردد. جدول 3 نیز معادلات مناسب برای پیشگویی این خصوصیات را نشان می‌دهد. روند تغییر خواص مکانیکی خمیر با توجه به اجزاء فرمول و به‌صورت نمودار رویه پاسخ در شکل 2 مشاهده می‌شود.

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول موجب کاهش معنی‌دار ($p \leq 0/001$) سفتی خمیر شده است. Krog (1981) این امر را به تشکیل پوشش‌های مایع با ساختاری صفحه‌ای بین گلوتن و نشاسته توسط امولسیفایرها نسبت داد که موجب افزایش سیالیت و نرمی خمیر می‌گردند.

همچنین Suhendro و همکاران (1995) نشان دادند که با افزایش پروپیلن گلیکول، خمیر نرم‌تر و انعطاف‌پذیرتر می‌گردد. بررسی تغییرات این شاخص نشان می‌دهد که معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) بالا و بسیار معنی‌داری ($p \leq 0/001$) برای پیشگویی آن برخوردار است. آزمون ضعف برازش آن بی معنی ($p \leq 0/05$)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است. بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه اول و درجه دوم ($p \leq 0/001$) بر سفتی خمیر موثر هستند و با توجه به جدول 3، مشخص می شود که مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات، مجذور داتم و برهم کنش داتم و پروپیلن گلیکول بر خلاف سایر پارامترهای موثر بر سفتی خمیر، به‌طور معنی‌داری آن را افزایش می‌دهند. داتم بیشترین اثر کاهشی و مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین

---

1 Central composite rotatable design (CCRD)
2 Backward multiple stepwise regression
3 Surface Plot
4 Lack of fit
5 Coefficient of Variation (CV)
6 Prediction error sum of squares (PRESS)
7 Partial Least Squares Regression Analysis (PLSR)

اثر افزایشی را بر این شاخص دارد.

جدول 2- آنالیز واریانس خصوصیات مکانیکی خمیر

منبع	درجه آزادی	سفتی		پیوستگی		رزیلینس		ارتجاعیت	
		مجموع مربعات	احتمال F	مجموع مربعات	احتمال F	مجموع مربعات	احتمال F	مجموع مربعات	احتمال F
میانگین	1	111/20		4/83		0/24		785/46	
خطی	3	0/46	0/0002	0/02	0/0001	0	0/3917	2/58	0/5
بر هم کنش	3	0/06	0/1955	0	0/1881	0	0/8887	1/44	0/7486
درجه دوم	3	0/14	<0/0001	0	<0/0001	0	0/0083	2/81	0/5458
درجه سه	5	0	0/1973	0	0/6322	0	0/2274	4/78	0/6919
خطای باقیمانده	5	0		0		0		7/68	
کل	20	111/86		4/85		0/24		804/76	
منبع	درجه آزادی	قابلیت جویدن		صمغیت		چسبندگی			
		مجموع مربعات	احتمال F	مجموع مربعات	احتمال F	مجموع مربعات	احتمال F		
میانگین	1	1996/75		33/48		1136/62			
خطی	3	7/92	0/0002	0/11	0/0002	3/07	0/0001		
بر هم کنش	3	1/01	0/1955	0/01	0/1955	0/18	0/5535		
درجه دوم	3	2/33	<0/0001	0/03	<0/0001	0/47	0/1080		
درجه سه	5	0/07	0/1973	0	0/1973	0/20	0/7639		
خطای باقیمانده	5	0/03		0		0/39			
کل	20	2008/10		33/64		1140/93			

از سوی دیگر، بررسی تغییرات پیوستگی خمیر نشان می‌دهد که افزودن سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول موجب افزایش معنی‌دار آن شده است. معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) بالا و بسیار معنی‌داری (p≤0/001) برای پیشگویی آن برخوردار است. آزمون ضعف برازش آن بی‌معنی (p≤0/05)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد که نشان دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است. بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه اول و درجه دوم (p≤0/001) بر پیوستگی خمیر موثر هستند و سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را بر افزایش پیوستگی خمیر دارد. از طرفی، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات، مجذور داتم و برهم‌کنش داتم و پروپیلن گلیکول پیوستگی خمیر را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهند که در میان آنها، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را دارد. نتایج این پژوهش با یافته‌های گذشته تایید می‌شود؛ به‌طوری که Armero و همکاران (1997) و Suhendro و همکاران (1995) نشان دادند که امولسیفایرها و پلی‌ال‌ها پیوستگی خمیر را از طریق تقویت شبکه گلوتنی افزایش می‌دهند.

رزیلینس یکی از پارامترهای استخراجی از نمودار آنالیز بافت خمیر است که به‌عنوان الاستیسیته در نظر گرفته می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که تنها مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات موجب کاهش معنی دار (p≤0/001) این پارامتر شده است و سایر منابع فاقد تاثیر معنی‌داری بر آن هستند. تاثیر سدیم استئاروئیل لاکتیلات را احتمالا می‌توان به افزایش انعطاف‌پذیری خمیر و تقویت شبکه گلوتنی نسبت داد که در سطوح کمتر از 0/5% منجر به افزایش الاستیسیته و رزیلینس می‌گردد (Krog, 1981). بررسی تغییرات این شاخص نشان می‌دهد که معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) متوسطی برای پیشگویی آن برخوردار است و این در حالی است که آزمون ضعف برازش آن بی‌معنی (p≤0/05)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد. بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه دوم (p≤0/01) بر رزیلینس خمیر موثر هستند.

بررسی تغییرات ارتجاعیت نشان داد که افزودن هیچ کدام از منابع، موجب تغییر معنی‌دار آن نشده است. Armero و همکاران (1997) نیز بیان نمودند که امولسیفایرها تاثیر خاصی بر این فاکتور ندارند.

افزودن سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول موجب کاهش معنی دار (p≤0/001) قابلیت جویدن خمیر شده است.

معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) بالا و بسیار معنی‌داری (p≤0/001) برای پیشگویی آن برخوردار است. آزمون ضعف برازش آن بی‌معنی (p≤0/05)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش بینی آن نیز پائین می‌باشد که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است.

بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه اول و درجه دوم (p≤0/001) بر قابلیت جویدن خمیر موثر هستند و داتم بیشترین تاثیر را بر کاهش قابلیت جویدن خمیر دارد. از طرفی، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات، مجذور داتم و برهم‌کنش داتم و پروپیلن گلیکول قابلیت جویدن خمیر را به‌طور معنی داری (p≤0/001) افزایش می دهند که در میان آنها، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را دارد. رفتار اجزاء ژل بهبوددهنده در ارتباط با این پارامتر مکانیکی خمیر، احتمالا به علت همبستگی زیاد آن با سفتی خمیر می‌باشد که منجر به ارائه تاثیری مشابه با آن گردیده است.

بررسی تغییرات صمغیت خمیر نشان داد که افزودن سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن‌گلیکول موجب کاهش معنی‌دار (p≤0/001) آن شده است که احتمالا به علت همبستگی بالای صمغیت با سفتی خمیر است. معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) بالا و بسیار معنی‌داری (p≤0/001) برای پیشگویی آن برخوردار است. آزمون ضعف برازش آن بی‌معنی (p≤0/05)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد که تائیدکننده قدرت مدل ارائه شده است.

بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه اول و درجه دوم (p≤0/001) بر صمغیت خمیر موثر هستند و داتم بیشترین تاثیر را بر کاهش صمغیت خمیر دارد. از طرفی، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات، مجذور داتم و برهم‌کنش داتم و پروپیلن‌گلیکول صمغیت خمیر را به‌طور معنی‌داری (p≤0/001) افزایش می‌دهند که در میان آنها، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را دارد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر

نتایج این پژوهش در خصوص چسبندگی نشان داد که سدیم استئاروئیل لاکتیلات موجب افزایش معنی دار (p≤0/001) و مجذور آن موجب کاهش معنی دار (p≤0/01) این شاخص شده است. در حالی که، سایر منابع، فاقد تاثیر معنی‌دار بر این ویژگی هستند. بررسی تغییرات این شاخص نشان می‌دهد که معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) بالا و بسیار معنی‌داری (p≤0/001) برای پیشگویی آن برخوردار است و این در حالی است که آزمون ضعف برازش آن بی‌معنی (p≤0/05)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد.

جدول ۳- مدل‌های پیشگو برای خصوصیات مکانیکی خمیر

خصوصیات خمیر	مدل پیشگو										R^2	R^2 (Adj)	احتمال F ضعف برازش	ضریب پراکندگی	مجموع مربع‌های خطای پیش بینی
	مدل	S	D	P	S^2	D^2	P^2	SD	SP	DP					
سفتی	۲/۸۵**	-۱/۳۲**	-۱/۳۵**	-۰/۴۵**	۱/۷**	۰/۷۷**	ns	ns	-۰/۴۲*	۱/۳**	۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۴۸	۰/۲۶۰۱	۰/۹۸	۰/۰۱۶۴
پیوستگی	۰/۴**	۰/۲۴*	۰/۲۳**	۰/۰۵*	-۰/۳۴**	-۰/۱۳*	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱*	-۰/۲۳*	۰/۹۹۴۱	۰/۹۸۸۸	۰/۶۳۲۲	۰/۷۹	۰/۰۰۰۵
رزیلینس	۰/۱**	ns	ns	ns	-۰/۱۲**	ns	ns	ns	ns	ns	۰/۷۰۱۷	۰/۶۶۶۶	۰/۵۱۹۴	۳/۸	۰/۰۰۰۴
ارتجاعیت	۶/۲۷	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	۰	۰	۰/۸۳۲۵	۱۶/۰۸	۲۱/۴
قابلیت جویدن	۱۲/۰۲**	-۵/۴۷**	-۵/۵۸**	-۱/۸۶**	۷/۰۴**	۲/۲۰**	ns	ns	-۱/۷۴*	۵/۴**	۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۴۸	۰/۲۶۰۱	۰/۹۵	۰/۲۸۲
صمغیت	۱/۵۳**	-۰/۶۵**	-۰/۶۶**	-۰/۲۲**	۰/۸۳**	۰/۳۸**	ns	ns	-۰/۲۱*	۰/۶۴**	۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۴۸	۰/۲۶۰۱	۰/۸۷	۰/۰۰۳۹
چسبندگی	۶/۸۶**	۴/۱۳**	ns	ns	-۳/۷۰*	ns	ns	ns	ns	ns	۰/۸۰۵۲	۰/۷۸۲۳	۰/۸۶۶۸	۲/۹۵	۱/۱۹

سدیم استئاروئیل لاکتیلات (S)، دی استیل تارتاریک استرهای مونو و دی گلیسرید (D) و پروپیلن گلیکول (P).

بدون ستاره (p≤۰/۰۵)، یک ستاره (p≤۰/۰۱)، دو ستاره (p≤۰/۰۰۱)، ns در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد.

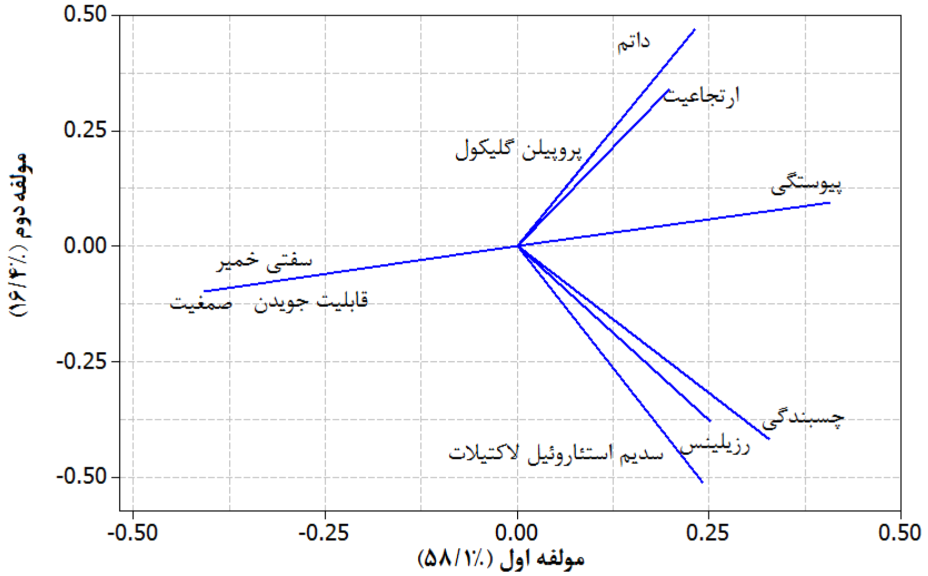
بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله خطی ($p \leq 0/001$) بر چسبندگی خمیر موثر هستند. Armero و همکاران (1997) نشان دادند که سدیم استئاروئیل لاکتیلات، چسبندگی خمیر را افزایش می دهد. از طرفی، Dhaliwal و همکاران (1990b) بیان کردند که یکی از دلایل چسبندگی می تواند افزایش جذب آب باشد؛ بنابراین اجزای ژل بهبوددهنده در مقادیر بالاتر از 0/5%، احتمالا به علت کاهش جذب آب، چسبندگی خمیر را کاهش می‌دهند و این پدیده با معنی‌داری مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات در معادله حاصل تائید می‌گردد.

داده‌های مربوط به خواص مکانیکی خمیر با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی مورد بررسی قرار گرفت (شکل 3). آنالیز چندمتغیره خواص مکانیکی خمیر، اجازه داد متغیرها به دو مولفه‌های اصلی کاهش یابند و در مجموع 74/5% از تغییرپذیری کل را شرح دهند. مولفه اول، 58/1% و مولفه دوم، 16/4% از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که در شکل 3 مشاهده می‌گردد، پیوستگی، همبستگی مثبتی با مولفه اول داشت اما پارامترهای سفتی، قابلیت جویدن و صمغیت خمیر همبستگی‌های منفی با آن داشتند. از سوی دیگر، چسبندگی و رزیلینس همبستگی مثبت اما ارتجاعیت همبستگی منفی با آن داشتند. همانطور که در شکل 3 مشخص است، سدیم استئاروئیل لاکتیلات تاثیر زیادی بر چسبندگی و رزیلینس داشت. هر چند هیچ کدام از اجزاء ژل بر پارامتر ارتجاعیت تاثیر معنی‌داری نداشتند اما همبستگی زیادی بین پروپیلن گلیکول و داتم با آن مشاهده گردید. پیوستگی خمیر نیز همبستگی مثبت و بالایی با این دو جزء ژل بهبوددهنده داشت. سفتی، قابلیت جویدن و صمغیت خمیر نیز دارای همبستگی بسیار بالایی با همدیگر بودند.

ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر، در جدول 4 گزارش شده اند. سفتی، صمغیت و قابلیت جویدن، همبستگی مثبت، بسیاربالا و معنی داری با هم داشتند اما با سایر خصوصیات مکانیکی خمیر، دارای ضرایب همبستگی منفی بودند. چسبندگی، به‌عنوان یکی از مهمترین خصوصیات مکانیکی خمیر، همبستگی مثبتی با پارامترهای پیوستگی، رزیلینس و ارتجاعیت داشت. از سوی دیگر، ضرایب همبستگی آن با پارامترهای سفتی، قابلیت جویدن و صمغیت خمیر منفی بود. نتایج بدست آمده از ضرایب همبستگی، تائیدکننده نتایج حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی می باشد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی و فارینوگرافی خمیر

ارتباط بین نتایج حاصل از آزمون‌های بافت‌سنجی و فارینوگرافی خمیر با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (شکل 4) و نیز همبستگی رگرسیونی (جدول 5) مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز چندمتغیره خواص خمیر، اجازه داد متغیرها به دو مولفه اصلی کاهش یابند و در مجموع 78/2% از تغییرپذیری کل را شرح دهند. مولفه اول، 66/3% و مولفه دوم، 11/9% از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که نمودار پراکنش در فضای مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد، هر دو مولفه اول و دوم، دارای همبستگی‌های منفی با جذب آب آرد، زمان گسترش و شاخص تحمل خمیر بودند اما با مقاومت خمیر ارتباط مستقیمی داشتند.

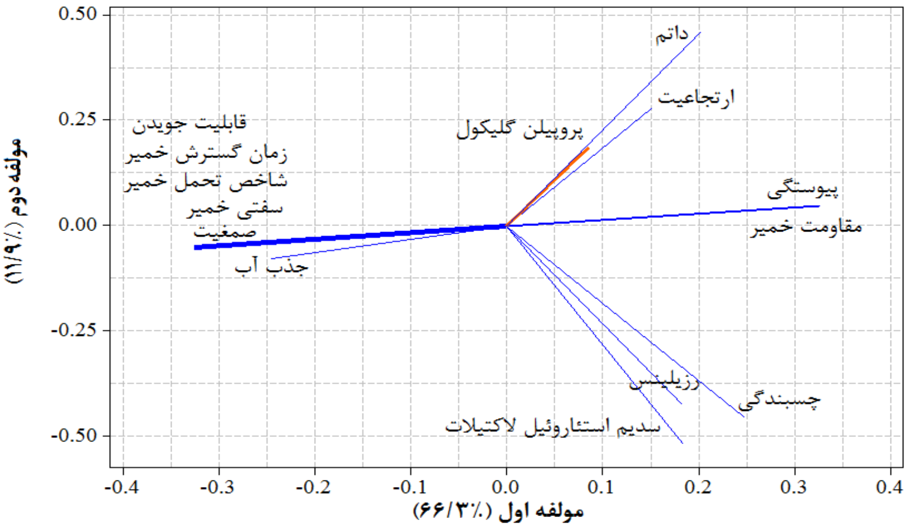


شکل 3- پراکنش خواص مکانیکی خمیر در فضای آنالیز مولفه های اصلی.

جدول 4- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر

پارامتر	سفتی	پیوستگی	رزیلینس	ارتجاعیت	قابلیت جویدن	صمغیت	چسبندگی
سفتی	1^{***}						
پیوستگی	$-0/995^{***}$	1^{***}					
رزیلینس	$-0/524^{*}$	$0/527^{*}$	1^{***}				
ارتجاعیت	$-0/461^{*}$	$0/465^{*}$	0/145	1^{***}			
قابلیت جویدن	1^{***}	$-0/995^{***}$	$-0/524^{*}$	$-0/461^{*}$	1^{***}		
صمغیت	1^{***}	$-0/995^{***}$	$-0/524^{*}$	$-0/461^{*}$	1^{***}	1^{***}	
چسبندگی	$-0/686^{**}$	$0/699^{**}$	$0/695^{**}$	0/257	$-0/686^{**}$	$-0/686^{**}$	1^{***}

بدون ستاره ($p \leq 0/05$)، یک ستاره ($p \leq 0/01$)، دو ستاره ($p \leq 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.



شکل 4- پراکنش خواص مکانیکی و فارینوگرافی خمیر در فضای آنالیز مولفه های اصلی.

جدول 5- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی و فارینوگرافی خمیر

پارامتر	جذب آب	زمان گسترش خمیر	مقاومت خمیر	شاخص تحمل
سفتی	$0/686^{**}$	1^{***}	$-0/995^{***}$	1^{***}
پیوستگی	$-0/705^{**}$	$-0/995^{***}$	1^{***}	$-0/995^{***}$
رزیلینس	-0/162	$-0/524^{*}$	$0/527^{*}$	$-0/524^{*}$
ارتجاعیت	-0/149	$-0/461^{*}$	$0/465^{*}$	$-0/461^{*}$
قابلیت جویدن	$0/686^{**}$	1^{***}	$-0/995^{***}$	1^{***}
صمغیت	$0/686^{**}$	1^{***}	$-0/995^{***}$	1^{***}
چسبندگی	$-0/540^{*}$	$-0/686^{**}$	$0/699^{**}$	$-0/686^{**}$

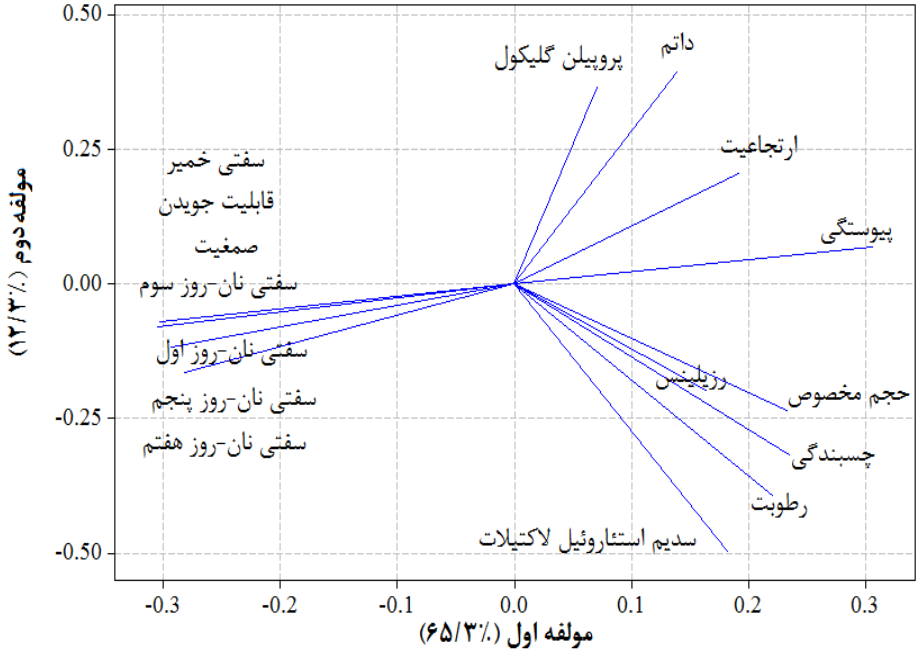
بدون ستاره ($p \leq 0/05$)، یک ستاره ($p \leq 0/01$)، دو ستاره ($p \leq 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.

همچنین با توجه به نتایج آنالیز مولفه هـای اصـلی و نیـز نتـایج حاصل از همبستگی رگرسیونی، ارتباط مستقیم و بسیار معنی‌دار بـین

جذب آب، شاخص تحمل، زمان گسترش، سفتی، صمغیت و قابلیت جویدن مشخص می گردد. پیوستگی خمیر ارتباط بسیار معنی‌دار و مثبتی با مقاومت خمیر داشت اما با سایر پارامترهای فارینوگرافی دارای همبستگی‌های منفی بود. چسبندگی، رزیلینس و ارتجاعیت تنها با مقاومت خمیر ارتباط مستقیم داشتند و با سایر پارامترهای فارینوگرافی همبستگی‌های منفی نشان دادند. چسبندگی خمیر اهمیت زیادی در صنایع پخت دارد که در اغلب موارد، باید آن را به حداقل رساند زیرا چسبیدن به سطوح تجهیزات ممکن است تاثیرات نامطلوبی از قبیل ایجاد فاصله در تولید، ضایعات تولید و آلودگی تجهیزات داشته باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، می توان با تنظیم میزان جذب آب آرد، تقویت خمیر و نیز کاهش میزان سدیم استئاروئیل لاکتیلات در فرمولاسیون ژل بهبوددهنده، چسبندگی خمیر را کاهش داد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات کیفی و ماندگاری نان

ارتباط بین خصوصیات حاصل از بافت‌سنجی خمیر و کیفیت و ماندگاری نان با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (شکل 5) و نیز همبستگی رگرسیونی (جدول 6) مورد بررسی قرار گرفت.



شکل 5- پراکنش خواص مکانیکی خمیر و خصوصیات کیفی و ماندگاری نان در فضای آنالیز مولفه های اصلی.

آنالیز چندمتغیره خواص خمیر و نان، متغیرها را به دو مولفه اصلی تقسیم نمود که در مجموع 77/6% از تغییرپذیری کل را شرح می‌دهند. مولفه اول، 65/3 % و مولفه دوم، 12/3 % از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که نمودار پراکنش در فضای مولفه های اصلی (شکل 5) نشان می دهد، مولفه اول تنها با حجم مخصوص و رطوبت نان، دارای ارتباط مستقیم بود و با ماندگاری نان ارتباط معکوسی داشت. مولفه دوم نیز با تمامی خصوصیات کیفی و ماندگاری نان ارتباط معکوس داشت. همچنین با توجه به نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی و نیز نتایج حاصل از همبستگی رگرسیونی می‌توان دریافت که سفتی نان در طول مدت ماندگاری، ارتباط مستقیمی با سفتی، صمغیت و قابلیت جویدن خمیر اما با سایر خصوصیات مکانیکی خمیر ارتباط غیرمستقیمی داشت. در حالی که حجم مخصوص و رطوبت نان با سفتی، صمغیت و قابلیت جویدن خمیر ارتباط معکوس و با سایر پارامترهای مکانیکی خمیر رابطه مستقیم داشت. بنابراین هرچه خمیر نرم تر و دارای پیوستگی بیشتری باشد، حجم مخصوص، رطوبت و ماندگاری نان بدست آمده بیشتر خواهد بود. افزایش مقدار سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول در فرمولاسیون ژل بهبوددهنده تا سطح بهینه، همزمان باعث بهبود خواص خمیر، کیفیت و ماندگاری نان می‌گردد. محققان زیادی ارتباط و همبستگی بین خصوصیات خمیر با کیفیت محصول نهایی را مورد بررسی قرار داده و نتایج مشابهی گزارش نموده اند (Sai Manohar *et al.*, 2002).

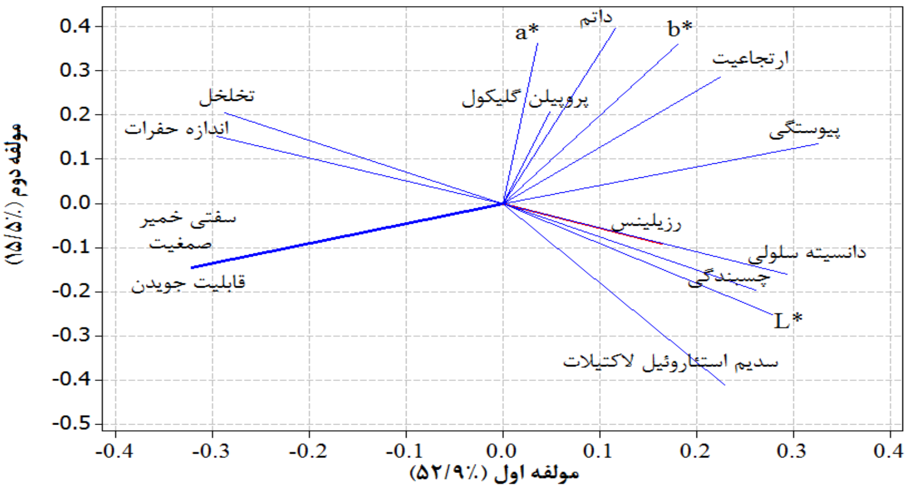
جدول 6- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات کیفی و ماندگاری نان

پارامتر	حجم مخصوص	رطوبت	سفتی (روز اول)	سفتی (روز سوم)	سفتی (روز پنجم)	سفتی (روز هفتم)
سفتی	$-0/670^{**}$	$-0/615^{**}$	1^{***}	$0/983^{***}$	$0/901^{***}$	$0/955^{***}$
پیوستگی	$0/62^{**}$	$0/634^{**}$	$-0/995^{***}$	$-0/980^{***}$	$-0/904^{***}$	$-0/955^{***}$
رزیلینس	0/175	0/348	$-0/524^{*}$	$-0/455^{*}$	-0/406	-0/426
ارتجاعیت	0/035	0/044	$-0/461^{*}$	$-0/454^{*}$	$-0/607^{**}$	-0/440
قابلیت جویدن	$-0/670^{**}$	$-0/615^{**}$	1^{***}	$0/983^{***}$	$0/901^{**}$	$0/955^{***}$
صمغیت	$-0/670^{**}$	$-0/615^{**}$	1^{***}	$0/983^{***}$	$0/901^{***}$	$0/955^{***}$
چسبندگی	$0/565^{**}$	$0/681^{**}$	$-0/686^{**}$	$-0/682^{**}$	$-0/640^{**}$	$-0/585^{**}$

بدون ستاره ($p \leq 0/05$)، یک ستاره ($p \leq 0/01$)، دو ستاره ($p \leq 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و پردازش تصویر نان

در سالهای اخیر، به‌طور گسترده‌ای از روش پردازش تصویر به‌عنوان یک تکنیک کمی، برای ارزیابی خصوصیات پوسته و ساختار مغز نان استفاده شده است (Zghal *et al.* 2002). در این پژوهش، ارتباط بین نتایج حاصل از آزمون‌های بافت سنجی خمیر و پردازش تصویر نان با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (شکل 6) و نیز همبستگی رگرسیونی (جدول 7) مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز چندمتغیره خواص خمیر و پردازش تصویر نان،اجازه داد متغیرها به دو مولفه اصلی کاهش یابند و در مجموع 68/4 % از تغییرپذیری کل را شرح دهند. مولفه اول، 52/9% و مولفه دوم، 15/5 % از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که نمودار پراکنش در فضای مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد، مولفه اول با تخلخل و اندازه حفرات بافت نان ارتباط معکوس و با سایر پارامترهای پردازش تصویر ارتباط مستقیم داشت. مولفه دوم نیز با *L و دانسیته سلولی ارتباط منفی و با سایر پارامترهای پردازش تصویر ارتباط مستقیم داشت. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، افزایش سفتی خمیر منجر به افزایش اندازه حفرات بافت نان و در نتیجه افزایش تخلخل می‌گردد. در حالی که، تعداد حفرات در واحد سطح (دانسیته سلولی) و نیز L*a*b* کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان دریافت که سفتی خمیر هسته‌زایی لازم برای تشکیل حفرات کاهش می‌دهد و تنها حفرات موجود می‌توانند افزایش اندازه داشته باشند. کاهش مولفه *L در اثر افزایش سفتی خمیر را می‌توان به همبستگی معکوس بین سفتی خمیر و رطوبت نان (0/615-) نسبت داد که منجر به کاهش انعکاس نور از سطح نان و در نتیجه کاهش مولفه روشنایی آن می‌گردد. اثر خصوصیات پیوستگی و چسبندگی خمیر بر خصوصیات سطح و بافت نان بر عکس سفتی خمیر بود که افزایش آنها موجب کاهش اندازه حفرات و تخلخل ولی افزایش دانسیته سلولی و L*a*b* می‌گردد. از بین اجزاء تشکیل دهنده ژل بهبوددهنده، سدیم استئاروئیل لاکتیلات و سپس داتم بیشترین تاثیر را بر پارامترهای پردازش تصویر داشتند. محققان مختلفی ارتباط بین پارامترهای استخراجی از پردازش تصویر پوسته و بافت نان را با سایر خصوصیات کیفی و بافتی خمیر و نان مورد بررسی قرار داده‌اند (Farrera-Rebollo *et al.* 2012; Gonzales-Barron *et al.* 2006).



شکل 6- پراکنش خواص مکانیکی خمیر و خصوصیات بدست آمده از پردازش تصویر نان در فضای آنالیز مولفه‌های اصلی

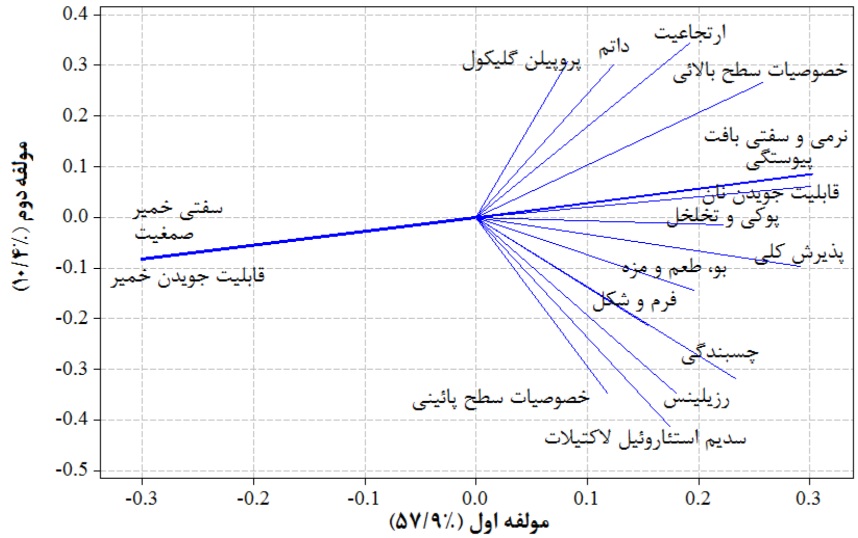
جدول 7- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات بدست آمده از پردازش تصویر نان

پارامتر	L*	a*	b*	اندازه حفرات	تخلخل	دانسیته سلولی
سفتی	-0/616**	-0/199	-0/514*	0/679**	0/647**	-0/668**
پیوستگی	0/635**	0/175	0/529*	-0/701**	-0/671**	0/686**
رزیلینس	0/347	-0/024	0/008	-0/166	-0/191	0/212
ارتجاعیت	0/044	0/356	0/377	-0/043	0/013	0/027
قابلیت جویدن	-0/616**	-0/199	-0/514*	0/679**	0/647**	-0/668**
صمغیت	-0/616**	-0/199	-0/514*	0/679**	0/647**	-0/668**
چسبندگی	0/681**	0/031	0/075	-0/562*	-0/562*	0/569**

بدون ستاره (p ≤ 0/05)، یک ستاره (p ≤ 0/01)، دو ستاره (p ≤ 0/001)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات حسی نان

ارتباط بین نتایج حاصل از آزمون‌های بافت‌سنجی خمیر و حسی نان با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (شکل 7) و نیز همبستگی رگرسیونی (جدول 8) مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز چندمتغیره خواص خمیر نشان می‌دهد که دو مولفه اصلی اول و دوم 68/3% از تغییرپذیری کل را شرح دهند. مولفه اول، 57/9% و مولفه دوم، 10/4% از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که نمودار پراکنش در فضای مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد، مولفه اول با تمامی خصوصیات حسی نان، ارتباط مستقیم داشت. مولفه دوم نیز با خصوصیات سطح بالائی، نرمی و سفتی بافت و قابلیت جویدن نان ارتباط مستقیم و با سایر خصوصیات حسی، ارتباط معکوس داشت. از میان خصوصیات مکانیکی خمیر، سفتی و پیوستگی دارای بیشترین و معنی‌دارترین ضرایب همبستگی با خصوصیات حسی نان بودند اما رزیلینس و ارتجاعیت خمیر کمترین ضرایب مربوطه (جدول 8) را داشتند. هر چند صمغیت و قابلیت جویدن نیز روندی مشابه سفتی داشتند اما نحوه محاسبه این دو پارامتر، متاثر از پارامتر سفتی بود. بنابراین با کاهش سفتی خمیر و نیز افزایش پیوستگی آن می‌توان خصوصیات حسی نان را بهبود بخشید. از میان خصوصیات حسی نان، نرمی و سفتی نان بیشترین و فرم و شکل و خصوصیات سطح پائینی، کمترین ضرایب همبستگی را با خصوصیات مکانیکی خمیر داشتند. از میان اجزای تشکیل‌دهنده، داتم و سپس سدیم استاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را بر خصوصیات حسی نان داشتند. Azizi و همکاران (2005) نیز گزارش نمودند که داتم نسبت به سدیم استئاروئیل لاکتیلات تاثیر بیشتری بر پذیرش کلی نان دارد.Armero و همکاران (1997) نیز همبستگی بین خصوصیات حسی مغز نان و صمغیت خمیر را مورد بررسی قرار دادند.



شکل 7- پراکنش خواص مکانیکی خمیر و خصوصیات حسی در فضای آنالیز مولفه‌های اصلی.

جدول 8- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات حسی نان

پارامتر	فرم و شکل	خصوصیات سطح بالایی	خصوصیات سطح پائینی	پوکی و تخلخل	سفتی و نرمی بافت	قابلیت جویدن	بو، طعم و مزه	پذیرش کلی
سفتی	-0/375	-0/786***	-0/333	-0/658**	-0/995***	-0/984***	-0/509*	-0/870***
پیوستگی	0/388	0/799***	0/303	0/679**	1***	0/988***	0/514*	0/875***
رزیلینس	0/337	0/178	0/523*	0/223	0/527*	0/551*	0/285	0/547*
ارتجاعیت	0/200	0/334	0/074	-0/016	0/465*	0/411	-0/100	0/305
قابلیت جویدن	-0/375	-0/786***	-0/333	-0/658**	-0/995***	-0/984***	-0/509*	-0/870***
صمغیت	-0/375	-0/786***	-0/333	-0/658**	-0/995***	-0/984***	-0/509*	-0/870***
چسبندگی	0/416	0/481*	0/254	0/580**	0/699**	0/687**	0/377	0/669**

بدون ستاره ($p \leq 0/05$)، یک ستاره ($p \leq 0/01$)، دو ستاره ($p \leq 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و سایر خصوصیات خمیر و نان با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی

تکنیک‌های چندمتغیره می‌توانند به‌طور موثری برای بررسی ارتباطات بین داده‌های مختلفی به‌کار روند. روش‌های آماری می‌توانند متقارن یا غیرمتقارن باشند (Dijksterhuis, 1994). روش‌های متقارن مانند روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی معمولا می‌توانند یکسری از داده‌ها را از سایر داده‌ها پیشگویی نمایند؛ در حالی که روش‌های نامتقارن مانند آنالیز مولفه‌های اصلی به آسانی می‌توانند ارتباط بین داده‌های مختلف را توصیف نمایند (Martens *et al.* 2001). در این پژوهش، از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای بررسی ارتباط بین داده‌های مکانیکی خمیر (X) و سایر خصوصیات خمیر، کیفیت و ماندگاری نان (Y) استفاده گردید. پیشگویی خصوصیات فارینوگرافی خمیر، خصوصیات کیفی، حسی، تصویری و ماندگاری نان با استفاده از خصوصیات مکانیکی خمیر، اهمیت زیادی در صنایع غذایی داشته و اطلاعات زیادی در خصوص پذیرش، کیفیت و ماندگاری نهایی محصول در اختیار ما می‌گذارد. بعلاوه، تعیین کیفیت و ماندگاری نان توسط ارزیابی مکانیکی خمیر مزایای زیادی از قبیل تکرارپذیری و راحتی دارد. بدین منظور، پنج خصوصیت بدست آمده از ارزیابی مکانیکی خمیر شامل سفتی، پیوستگی، رزیلینس، ارتجاعیت و چسبندگی خمیر به‌عنوان پارامترهای پیشگویی‌کننده مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول 9 مدل‌های آماری دارای ضرایب همبستگی متوسط به بالا گزارش شده‌اند که با استفاده از خواص مکانیکی خمیر قادر به پیشگویی خصوصیات خمیر و نان هستند.

همانطور که مشاهده می‌گردد، ضرایب همبستگی اغلب مدل‌های بدست آمده، بالاتر از حد متوسط است که کارایی این مدل‌ها را در ایجاد ارتباط بین خصوصیات مربوطه را نشان می‌دهد

بهینه‌سازی

به‌منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون و فرآیند تولید ژل بهبوددهنده برای خواص مکانیکی خمیر نان بربری، حد بالا، پائین و مطلوب هر یک از صفات و وزن و اهمیت آنها تعیین شد. لذا در محاسبات مربوطه، سفتی و چسبندگی خمیر، کمینه؛ پیوستگی، رزیلینس و ارتجاعیت، بیشینه؛ صمغیت وقابلیت جویدن، میانه در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که از اختلاط 0/5 g/100g سدیم استئاروئیل لاکتیلات، 0/5 g/100g داتم و 0/5 g/100g پروپیلن گلیکول بهترین حالت حاصل می‌شود. در این شرایط سفتی خمیر، 2/15 نیوتن؛ پیوستگی خمیر، 0/53؛ قابلیت جویدن خمیر، 9/12 نیوتن؛ ارتجاعیت خمیر، 6/27؛ رزیلینس خمیر، 0/11؛ صمغیت خمیر، 1/19 نیوتن؛ چسبندگی خمیر، 7/99 نیوتن بر میلی‌متر مربع خواهد بود. به‌منظور بررسی صحت ترکیب ژل بهینه‌سازی شده، تیمار پیشنهادی با شرایط یکسان همانند بقیه تیمارها تولید و نتایج حاصل از ارزیابی خواص خمیر با نتایج پیشگویی شده توسط مدل مقایسه گردید. عدم وجود تفاوت معنی‌دار ($p \leq 0/05$) بین مدل‌ها و مشاهدات تجربی کارایی مدلها را به‌خوبی اثبات می‌کند (نتایج آورده نشده است) که در تولید صنعتی می‌توان از آنها استفاده کرد.

جدول 9- مدل‌های رگرسیونی حداقل مربعات جزئی (PLSR) برای خصوصیات خمیر و نان بربری به‌عنوان تابعی از خصوصیات مکانیکی خمیر

خصوصیات مورد بررسی	مدل های رگرسیونی	R^2
جذب آب آرد	Y = 109/091 – 8/319 A – 68/001 B + 74/640 C + 0/289 D – 0/791 E	68/4
زمان گسترش خمیر	Y = 3/560 A - B + C + D - E	99/9
مقاومت خمیر	Y = - A + 36/680 B - C + D + E	99/9
شاخص تحمل	Y = 31/972 A + B + C + D - E	99/9
حجم مخصوص	Y = - 7/193 + 2/052 A + 15/820 B – 15/733 C – 0/0897 D + 0/187 E	75/1
رطوبت	Y = -21/066 + 7/712 A + 56/696 B- 49/788 C – 0/374 D + 1/511 E	63/4
سفتی (روز اول)	Y = 0/830 A + B + C + D - E	99/9
سفتی (روز سوم)	Y = 0/356 + 0/791 A – 0/476B+ 2/960 C + 0/0015 D - 0/0324 E	97/4
سفتی (روز پنجم)	Y = 3/044 + 0/317 A – 2/612 B+ 3/488 C – 0/0467 D- 0/0559 E	87/1
سفتی (روز هفتم)	Y = 3/020 + 0/416 A – 4/354 B + 1/691 C + 0/00483 D + 0/0559 E	92/8
L*	Y = -46/670 + 17/058 A + 125/383 B – 110/087 C – 0/826 D + 3/332 E	63/5
اندازه حفرات	Y = 1/780 – 0/223 A – 1/716 B + 1/702 C + 0/00938 D – 0/0191 E	76/7
تخلخل	Y = 0/0772 – 0/00985 A – 0/0730 B+ 0/0631 C + 0/000431 D- 0/000788 E	74/3
دانسیته سلولی	Y = -59/249 + 16/568 A + 142/032 B – 153/055 C – 0/993 D + 2/00537 E	70/3
خصوصیات سطح بالایی	Y = 0/0667 + 0/678 A + 7/0936 B – 7/004 C – 0/0121 D + 0/0168 E	73/6
پوکی و تخلخل	Y = -5/913 + 1/741 A + 13/599 B – 12/296 C – 0/0913 D + 0/169 E	73/6
سفتی و نرمی بافت	Y = A + 8/608 B + C + D - E	99/9
قابلیت جویدن	Y = -0/119 + 0/0346 A + 7/702 B + 2/142 C – 0/0156 D – 0/029 E	98/2
پذیرش کلی	Y = 1/685+ 0/0316 A + 4/189 B + 1/974 C – 0/0196 D + 0/0166 E	78/6

A : سفتی خمیر؛ B :پیوستگی خمیر؛ C : رزیلینس خمیر؛ D : ارتجاعیت خمیر و E : چسبندگی خمیر است.

نتیجه‌گیری

آنالیز رویه پاسخ مربوط به طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر با سه متغیر مستقل شامل سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول به‌عنوان اجزاء ژل بهبوددهنده، پاسخ‌ها شامل پارامترهای مکانیکی خمیر نان بربری و به‌منظور بهینه‌سازی خصوصیات مذکور به انجام رسید. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بودند که متدولوژی رویه پاسخ را می‌توان به خوبی در بهینه‌سازی این خصوصیات به‌کار برد.

چسبندگی خمیر با افزایش سدیم استئاروئیل لاکتیلات، افزایش یافت اما همانند رزیلینس، با مجذور آن کاهش یافت. سفتی، قابلیت جویدن و صمغیت خمیر با افزایش سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول کاهش یافتند و از طرفی، تحت تاثیر برهم‌کنش آنها نیز قرار گرفتند. از سویی، پیوستگی خمیر با افزایش هر سه جزء تشکیل‌دهنده ژل، افزایش یافت و تحت تاثیر برهم‌کنش آنها نیز قرار گرفت.

مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش از R^2 و R^2 (adj) متوسط به بالا و معنی‌داری برخوردار هستند. همچنین آزمون ضعف برازش آنها بی‌معنی و ضریب تغییرات آنها نیز پائین می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی مدل‌های ارائه شده در پیش‌بینی پارامترهای مورد ارزیابی است. با استفاده از این مدل‌ها از سویی می‌توان با توجه به هدف و کاربرد ژل، ترکیبات آن را فرموله و تنظیم نمود و از طرفی می‌توان با توجه به ترکیب اجزاء ژل تولید شده، خصوصیات مورد نظر را پیش‌بینی و اصلاح نمود.

همچنین آنالیز مولفه‌های اصلی ثابت نمود که قادر به استخراج اطلاعات مناسبی است و می‌تواند به‌عنوان یک روش آسان برای تحلیل و تفسیر خواص مکانیکی خمیر مورد استفاده قرار گیرد. ارتباط بین خصوصیات فارینوگرافی خمیر، خصوصیات کیفی، حسی، تصویری و ماندگاری نان با خصوصیات مکانیکی خمیر با استفاده از روش رگرسیونی حداقل مربعات جزئی، اهمیت زیادی در صنایع غذایی داشته و اطلاعات مفیدی در خصوص پذیرش، کیفیت و ماندگاری نهایی محصول در اختیار ما می‌گذارد.

منابع

AACC (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. vol. Vol. 2. . St. Paul, MN: A*merican Association of Cereal Chemists.*

Angioloni, A., & Collar, C. (2011). Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. LWT-*Food Science and Technology*, 44(3), 747-758.

Armero, E., & Collar, C. (1997). Texture properties of formulated wheat doughs Relationships with dough and bread technological quality. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A, 204(2), 136-145.

Azizi, M., & Rao, G. (2005). Effect of storage of surfactant gels on the bread making quality of wheat flour. *Food Chemistry*, 89(1), 133-138.

Bárcenas, M. E., & Rosell, C. M. (2006). Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 92-99.

Dhaliwal, A., & MacRitchie, F. (1990a). Contributions of protein fractions to dough handling properties of wheat-rye translocation cultivars. *Journal of Cereal Science*, 12(2), 113-122.

Dhaliwal, A., Mares, D., & Marshall, D. (1990b). Measurement of dough surface stickiness associated with the 1B/1R chromosome translocation in bread wheats. *Journal of Cereal Science*, 12(2), 165-175.

Dijksterhuis, G. (1994). Procrustes analysis in studying sensory-instrumental relations. *Food quality and preference*, 5(1), 115-120.

Dreese, P., Faubion, J., & Hoseney, R. (1988). Dynamic rheological properties of flour, gluten, and gluten-starch doughs. I. Temperature-dependent changes during heating. *Cereal chemistry*, 65(4), 348-353.

Farrera-Rebollo, R. R., de la Paz Salgado-Cruz, M., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, L., & Calderón-Domínguez, G. (2012). Evaluation of image analysis tools for characterization of sweet bread crumb structure. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 474-484.

Gliemmo, M. F., Campos, C. A., & Gerschenson, L. N. (2006). Effect of several humectants and potassium sorbate on the growth of Zygosaccharomyces bailii in model aqueous systems resembling low sugar products. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 761-770.

Gonzales-Barron, U., & Butler, F. (2006). A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumb features by digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 268-278.

Heddleson, S., Hamann, D., & Lineback, D. (1993). The Dahlquist criterion: applicability of a rheological criterion to the loss of pressure-sensitive tack in flour-water dough. *Cereal chemistry*.

Howard, N. (1972). role of some essential ingredients in the formation of layer cake structures. Bakers digest.

Kamel, B., & Ponte Jr, J. (1993). Emulsifiers in baking. *Advances in baking technology* (pp. 179-222): Springer.

Knightly, W. H. (1981). Shortening Systems: Fats, Oils, and Surface-Active Agents—Present and Future1. *Cereal chemistry*, 58(3), 171-174.

Krog, N. (1981). Theoretical aspects of surfactants in relation to their use in breadmaking. *Cereal chemistry*, 58(3), 158-164.

Krog, N. J., & Sparso, F. V. (1997). Food emulsifiers and their chemical and physical properties. In: S. Friberg, & K. Larsson, Food Emulsions: *Marcel Dekker Inc.*: New York.

Lombard, G., Weinert, I., Minnaar, A., & Taylor, J. (2000). Preservation of South African steamed bread using hurdle technology. LWT-*Food Science and Technology*, 33(2), 138-143.

Maleki, M., Vetter, J. L., & Hoover, W. J. (1981). The effect of emulsifiers, sugar, shortening and soya flour on the staling of barbari flat bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32(12), 1209-1212.

Martens, H., & Martens, M. (2001). Analysis of two data tables X and Y: Partial Least Squares Regression (PLSR). Multivariate Analysis of Quality: An Introduction (pp. 111-125). London, UK: J. *Wiley & Sons* Ltd.

Martin, D., & Stewart, B. (1991). Contrasting dough surface properties of selected wheats. *Cereal foods world*, 36(6), 502–504.

Navickis, L., Anderson, R., Bagley, E. B., & Jasberg, B. (1982). Viscoelastic properties of wheat flour doughs: Variation of dynamic moduli with water and protein content. *Journal of Texture Studies*, 13(2), 249-264.

Potgieter, J. (1992). Emulsifiers for bakery. *Food Review*, 18, 23-23.

Pourfarzad, A., Khodaparast, M. H. H., Karimi, M., Mortazavi, S. A., Davoodi, M. G., Sourki, A. H., & Razavizadegan Jahromi, S. H. (2011). Effect of polyols on shelf-life and quality of flat bread fortified with soy flour. *Journal of Food Process Engineering*, 34(5), 1435-1448.

Pourfarzad, A., Haddad Khodaparast, M., Karimi, M., & Mortazavi, S. (2011). Use of response surface methodology for investigation the effect of gel improver components on the stickiness of Barbari bread dough. *Journal of Food Research*, 21(2), 257-268.

Pourfarzad, A., Mohebbi, M., & Mazaheri-Tehrani, M. (2012). Interrelationship between image, dough and Barbari bread characteristics; use of image analysis to predict rheology, quality and shelf life. *International journal of food science & technology*, 47(7), 1354-1360.

Pourfarzad, A., Haddad Khodaparast, M. H., Karimi, M., & Mortazavi, S. A. (2013). Study on the Effect of Gel Improver Components on Properties of Barbari Bread Fortified with Soy Flour Using Image Processing Techniques. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(4), 285-294.

Rajabzadeh, N. (1991). Iranian Flat Breads Evaluation. Tehran, Iran: Iranian Cereal and Bread Research Institute.

Ram, B. P., & Nigam, S. N. (1983). Texturometer as a tool for studying varietal differences in wheat flour doughs and gluten proteins. *Journal of Texture Studies*, 14(3), 245-249.

Rosell, C. M., Rojas, J. A., & de Barber, C. B. (2001). Combined effect of different antistaling agents on the pasting properties of wheat flour. *European Food Research and Technology*, 212(4), 473-476.

Sai Manohar, R., & Haridas Rao, P. (2002). Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International,* 35(9), 807-813.

Silva, R. (2000). Uses of alpha-crystalline emulsifiers in the sweet goods industry. *Cereal foods world*, 45(9), 405-411.

Suhendro, E., Waniska, R., Rooney, L., & Gomez, M. (1995). Effects of polyols on the processing and qualities of wheat tortillas. *Cereal chemistry*, 72(1), 122-127.

Zghal, M., Scanlon, M., & Sapirstein, H. (2002). Cellular structure of bread crumb and its influence on mechanical properties. *Journal of Cereal Science*, 36(2), 167-176.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 663-679

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 679-663

Use of dough mechanical properties in the prediction rheology of dough, quality, sensory, shelf life and microstructure of bread: investigation by asymmetric and symmetric multivariate methods

A. Pourfarzad[1*], M. Karimi[2], Z. Ahmadian[3], S. Hejri-Zarifi[4], S. Gheibi[1]

Received: 2016.02.03
Accepted: 2016.04.23

Introduction: Flat breads are the main dietary staple in many Middle Eastern and North African countries. In today's demanding world, the use of bread improvers has become an indispensable part of enhancing the quality of bakery products. Bread improvers are technically sophisticated blends of functional ingredients, which if formulated correctly, will enhance the development of dough structure, facilitate trouble-free production, and provide the desired result of consistent products having optimal quality at the lowest possible cost. Among the functional food additives, polyols have been increasingly used to improve the quality and shelf life of bread. Polyols have been used successfully to extend the shelf life of ready to eat bread used by the military, Barbari bread fortified with soy flour, as well as flour tortillas. Emulsifiers, a subset of surfactants, have been widely used by the baking industry. The function of surfactants, as crumb softening agents, is closely related to their interaction or complex formation with starch, particularly the linear amylose fraction, to retard bread staling. Surfactants, such as SSL and DATEM that are the most efficient in breadmaking are able to form lamellar mesophases or gel structures in water. It has been shown that for polar lipids the lamellar liquid-crystalline phase is the most effective form in which this component can be added to bread dough in order to improve loaf volume. Mechanical properties of dough play an important role in baking industries. In a few cases, it can be desirable, for example, to fix some ingredients on bakery products. The dough is expected not to stick to metal surfaces and to show a good resistance to vibration and mechanical shock to minimize detrimental effects such as process breakdown, production loss and contamination of the equipment. Thus, the present study was designed: (a) to examine the effects of different emulsifiers (sodium stearoyl-2-lactylate and diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides) and polyol (propylene glycol) on Barbari flat bread performance when used singly and in combination at different levels; (b) to obtain the relationship between mechanical and rheological properties of dough and quality, shelf life, sensory and image parameters of bread using the asymmetric methods (response surface methodology and partial least squares regression) and symmetric methods (coefficients of determination and Principal components analysis) and (c) to determine the optimum formulations for Barbari flat bread improver.

Materials and methods: Commercial *Triticum aestivum* wheat flour (locally named Setareh) was procured from the AceeArd Co., Khorasan, Iran. Propylene glycol (PG) was purchased from J.T. Baker Chemical Company (Phillipsburg, NJ). Sodium stearoyl-2-lactylate (SSL) and diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides (DATEMs) were provided by Vista Tejarat Company (Tehran, Iran). Moisture, ash, fat, protein, wet gluten and falling number were determined according to standard AACC methods. Three replications were taken for each characteristic. Gel samples were prepared using sodium stearoyl-2-lactylate (SSL), diacetyl tartaric acid esters of monoglyceride (DATEM) and propylene glycol (PG) in the range of 0-0.5 g/100g. Bread making was carried out according to the method of Maleki et al. (1981). Quality analysis of fresh bread samples was carried out by measuring specific volume. Sensory attributes of bread were selected according to the Iranian flat bread evaluation method, including bread form and shape; upper surface property; bottom surface property; cavity and porosity; firmness and softness of texture; chewiness; odor, flavor and taste and overall quality score. Staling phenomenon and its changes were evaluated by penetration test after 1 hour, 3, 5 and 7 days. The

1. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Associate Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, Mashhad, Iran
3. Ph.D. Student, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran.
4. M.Sc. Student, Department of Nutrition, School of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences.
(*Corresponding Author Email: amir.pourfarzad@gmail.com)

average values of L*, a*and b* colors describing the outer crust regions were obtained. The crumb grain features were the mean cell area, porosity, and cell density. A central composite design was constructed using the software Design Expert Version and was used for sampling of different combination of gel constituents. In addition, Lack of fit, coefficients of determination (R^2), adj-R^2, coefficient of variation (CV) and significant probabilities were calculated to check the model adequacy. Multivariate correlation matrix, coefficients of determination and principal components analysis were performed by using Minitab 15 software.

Results and Discussion: The characteristics of the flour are in the range of typical values of medium strong flour, suitable for Iranian Barbari flat bread. The results showed dough adhesiveness was increased by SSL addition but it was decreased by quadratic effect of SSL like as resilience. All of three components to the gel formula caused decrement in the hardness, gumminess and chewiness. But the interaction of them influenced on them. On the other hand, although cohesiveness increased by addition of all components but influenced significantly by interaction of them. Dough mechanical properties were furthermore correlated with dough farinographic aspects, quality, sensory parameters, image processing and shelf life of bread. It was proved that principal components analysis (PCA) is able to extract relevant information and offer an easy and promising approach for the interpretation of dough mechanical properties and its correlation with other properties and dough and bread. Partial least squares regression (PLSR) models were applied to determine the relationships between dough mechanical properties and dough farinographic properties, bread quality, sensory, image processing and shelf life aspects. Results from statistical analysis suggest that the mechanical parameters of dough are capable in predicting more than 50% of dough and bread properties.

Keywords: Central composite design, Coefficients of determination, Principal component analysis, Partial least squares regression, Texture analysis of dough.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 680-690

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 690-680

بررسی اثرتعداد لایه‌ها و غلظت‌های مختف پوشش‌های خوراکی کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان بر کارایی فرایند خشک کردن اسمزی سیب زرد لبنانی

سیده الهام ساداتی گل‌افشانی[1]- سید مهدی جعفری[2*]- سید مهدی کاشانی‌نژاد[3]- شهرام بیرقی طوسی[4]- محمد گنجه[5]

تاریخ دریافت: 1394/01/26
تاریخ پذیرش: 1394/09/25

چکیده

در طی فرایند آبگیری اسمز، مواد جامد محلول توسط بافت ماده غذایی جذب شده و اثرات نامطلوبی بر خروج آب، خصوصیات تغذیه‌ای و حسی می‌گذارد. لذا برای بهبود فرایند اسمز از پوشش‌های خوراکی استفاده می‌شود. بهترین شاخص برای ارزیابی یک پوشش، کارایی فرایند (نسبت خروج آب به جذب مواد جامد) است. در این پژوهش از دو پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان در سه غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد، به‌صورت یک‌لایه و دو لایه، جهت پوشش‌دهی قطعات مکعبی سیب زرد لبنانی و محلول اسمزی ساکارز با غلظت 30، 45 و 60 % استفاده شد. نتایج نشان داد که نمونه یک بار پوشش داده شده با کاراگینان 1% و تیمار شده در ساکارز 60 % و نمونه‌های یک و دو لایه پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز 0/5% بیشترین میزان کارایی فرایند را داشته‌اند و به‌عنوان تیمارهای برگزیده به‌دست آمدند. این نمونه‌ها میزان جذب مواد جامد را کاهش داده و تاثیر قابل توجهی بر روی خروج آب نگذاشته‌اند. همچنین نتایج بیان‌گر این موضوع است که با افزایش غلظت محلول اسمزی ساکارز از 30 به 60% میزان حذف آب و جذب مواد جامد افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌های خوراکی ، جذب مواد جامد، سیب زرد لبنانی، کارایی فرایند آبگیری اسمزی

مقدمه

استفاده از هوای داغ، روش مرسومی جهت خشک کردن مواد غذایی است هرچند اثرات سویی از جمله تغییر رنگ، سفتی بافت و کاهش کیفیت بر محصول نهایی می‌گذارد. پیش تیمار فرایند اسمز قبل از خشک کردن با هوای گرم باعث بهبود کیفیت و حفظ مواد مغذی موجود در فرآورده شده و میزان نیاز به انرژی حرارتی جهت حذف آب محصول را کاهش می‌دهد. از طرفی با به‌کارگیری محلول‌های اسمزی، از واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی تا حد قابل ملاحظه‌ای جلوگیری شده و امکان حذف مواد شیمیایی نگهدارنده به ویژه ترکیبات گوگردی افزایش خواهد یافت (Khin *et al.*, 2005).

آبگیری اسمزی عبارت است از خارج کردن بخشی از آب بافت گیاهی یا حیوانی به‌وسیله تماس مستقیم با یک محلول غلیظ مناسب مانند محلول قندها، نمک‌ها یا مخلوطی از نمک و قند. در این فرایند، با قرار دادن قطعات مواد غذایی نظیر میوه‌ها و سبزی ها در یک محلول اسمزی، دیواره طبیعی سلول‌های ماده غذایی به‌عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل کرده و به علت وجود اختلاف غلظت بین محلول اسمزی (دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کمتر) و مایعات داخل سلولی، نیروی محرکه لازم برای خروج آب از ماده غذایی به داخل محلول اسمزی ایجاد می‌شود (Lenart *et al.*, 1999). انتقال ماده حل شده از محلول به داخل محصول، خصوصیات تغذیه‌ای و حسی محصول نهایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

فرآیند اسمز به دلیل حفظ پایداری، ایجاد کیفیت بالا، اصلاح خصوصیات کاربردی وکاهش مصرف انرژی، علاقه محققین را در طی سال‌های اخیر، بیش از پیش به خود جلب کرده است. جذب مواد جامد محلول اسمزی توسط بافت ماده غذایی، ترکیب (نسبت قند به اسید) و طعم محصول نهایی را تغییر می‌دهد و در اثر ایجاد لایه‌ای بر روی سطح محصول، گرادیان فشار اسمزی بین محصول و محیط اسمزی را به هم‌زده و نیروی محرکه لازم برای جریان آب را کاهش می‌دهد. علاوه بر تاثیر منفی آن بر روی سرعت خروج آب، جذب مواد جامد به دلیل بستن لایه‌های سطح محصول، مقاومت اضافی را برا ی

1، 2، 3 و 5- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار، استاد و دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
4- عضو هیئت علمی، گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد.
(* - نویسنده مسئول (Email: smjafari@gau.ac.ir
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.45890

انتقال جرم ایجاد کرده و سرعت آبگیری را از این طریق نیز کم می‌کند (Lazarides *et al*., 2007). همچنین این امر بر روی خصوصیات تغذیه‌ای نمونه تاثیر منفی می‌گذارد. به‌علاوه چالش‌های مدیریت محلول‌های اسمزی و مسئله دفع و یا بازیافت و استفاده‌های مجدد از این محلول‌ها از دیگر مشکلات پیش‌روی صنعتی شدن این فرایند است.

بر اساس دلایل مذکور، استفاده از این فرایند در سطح صنعتی و تجاری محدود شده است. اهمیت ویژه جذب مواد جامد با توجه به اختلال در خروج آب و خصوصیات کیفی محصول نهایی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است و موضوع مهم در فرایند آبگیری اسمزی، کاهش و کنترل جذب مواد جامد محلول می باشد. برخی مطالعات نشان داده است که بسیاری از پوشش‌های خوراکی موجب جذب کمتر مواد جامد می‌شوند و تاثیر منفی مهمی بر روی خروج آب نمی‌گذارند (Lazarides *et al*., 2007). در این رابطه از محلول‌های آبی نشاسته سیب‌زمینی، پکتین، آلژینات سدیم، کیتوزان، اتیل سلولز، کربوکسی‌متیل‌سلولز و مالتودکسترین به‌عنوان مواد پوشش‌دهنده استفاده شده است (Matuskaet *et al*., 2006; Khin *et al*., 2007; Dehghannya *et al*., 2006; Garcia *et al*., 2010; Khin *et al*., 2006).

Matuska و همکاران (2006) برای کنترل جذب مواد جامد در حین آبگیری اسمزی توت‌فرنگی از پوشش‌های خوراکی استفاده کردند. فرایند اسمزی در دمای 30 و 50 درجه سانتی‌گراد با محلول ساکارز 61/5% به‌همراه همزدن مداوم به مدت 180 دقیقه انجام شد. سدیم آلژینات و کاراگینان 0/5% و 1% و مخلوط 0/5% کاراگینان و گوار با نسبت 1 به 1 به‌عنوان پوشش‌دهنده توت‌فرنگی مورد استفاده قرار گرفت. طبق یافته‌های آن‌ها بیشترین درصد حذف آب مربوط به نمونه‌ای است که دو بار با سدیم آلژینات 0/5درصد پوشش داده شده و دلیل این امر این است که این تیمار کمترین مقدار جذب مواد جامد را داشته است و عدم وجود لایه ساکارز بر روی نمونه موجب تسریع خروج آب می‌شود. تمام نمونه‌های پوشش داده شده دارای مقدار جذب مواد جامد کمتری نسبت به نمونه شاهد (حدود 50% کمتر) بودند. و کمترین آن مربوط به سدیم آلژینات 0/5% با کاهش حدود 43/5% بود. بهترین معیار برای انتخاب نوع پوشش مناسب پارامتر کارایی فرایند[1] (Pr) است که نسبت درصد حذف آب به جذب مواد جامد بوده و نشان‌دهنده راندمان خروج آب با حداقل جذب مواد جامد می‌باشد. در بین تیمارها، نمونه کنترل دارای کمترین مقدار کارایی فرایند و بیشترین آن مربوط به سدیم آلژینات 0/5% با 123% افزایش، بوده است. بنا به نظر آن‌ها تاثیر پوشش بستگی به ترکیب و نحوه استفاده از آن دارد. هر پوشش بایستی به‌طور جداگانه تست شود و ترکیبات آن شناسایی و شرایط ومحدودیت‌های آن تعیین گردد (Matuska *et al*., 2006).

Silva و همکاران (2012) از فرایند اسمزی به مدت 12 ساعت و در دمای 27 درجه سلسیوس و با نسبت‌های 1به 4، 1 به 10 و 1 به 15 محلول اسمزی به میوه جهت آبگیری گیلاس استفاده کردند. حذف آب، جذب مواد جامد و افت وزن در طی فرایند آبگیری افزایش می‌یابد و با افزایش نسبت محلول اسمزی به میوه این افزایش بیشتر خواهد بود. Garcia و همکاران (2010) از فرایند اسمزی برای فرایند آبگیری عنبه استفاده کردند و نتایج حاکی از افزایش کارایی فرایند اسمزی با استفاده از پوشش کیتوزان بود به شکلی که به‌طور معناداری میزان حذف آب افزایش و جذب مواد جامد کاهش یافت. Jalaee و همکاران (2010) نیز به کاهش معنادار جذب مواد جامد با استفاده از پوشش‌های خوراکی در خشک کردن اسمزی اشاره کرده‌اند. Farzaneh و همکاران (2011) قطعات سیب (بدون پوشش و پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز) را با محلول اسمزی 50 درصد شکر فرایند اسمزی نموده و سپس با استفاده از خشک‌کن انجمادی،خشک‌کن تحت خلا و خشک کردن با هوا خشک کردن تکمیلی را انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که با استفاده از پوشش‌های خوراکی قبل از خشک کردن اسمزی میزان خصوصیات حسی، نسب آبدهی، تغییرات رنگ و دانسیته به‌طور معنا داری تحت تاثیر قرار گرفته و بهبود می‌یابد. Mundada و همکاران (2011) نیز کاهش مقاومت سطحی در برابر انتقال جرم در سطح محصول را از عوامل افت بیشتر میزان آب در دماهای بالاتر دانسته‌اند.

در این پژوهش از کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز نوع تجاری، که در صنعت غذا کاربرد زیادی دارند، جهت پوشش‌دهی استفاده شد. این دو نوع پوشش هر دو از گروه صمغ‌های خطی با بار منفی هستند که فیلم خوبی تشکیل می‌دهند (Nieto, 2009). از دیگر صمغ‌های این خانواده می‌توان به سدیم آلژینات، پکتین و ژلان اشاره کرد. گروه‌های آنیونی، قطبیت را افزایش داده و حلالیت در آب را زیاد می‌کنند. حلالیت در آب، بستگی به مقدار و توزیع شارژ در مولکول پلی‌مر دارد. وجود بار منفی به‌واسطه رانشی که ایجاد می‌کند پیوند درون مولکولی بین شاخه‌های پلی‌مر را کاهش می‌دهد و این باعث می‌شود که در حین خشک شدن، فیلم بسیار سختی ایجاد نشود. این خصوصیت اجازه می‌دهد که فیلم تشکیل شده در حین آبگیری به‌خوبی آب جذب کند. در این پژوهش علاوه بر بررسی پوشش‌دهی در طی فرایند اسمز و معرفی بهترین تیمار پوشش‌دهی برای دست‌یابی به شرایط مناسب خشک کردن اسمزی، تاثیر غلظت محلول‌های اسمزی و محلول‌های پوشش‌دهنده و همچنین تعداد لایه‌های پوشش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

---

1 Performance ratio

مواد وروش‌ها

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش شامل سیب، ساکارز (با درجه خلوص 99/9%، تولید شرکت قند فریمان)، کاراگینان (نوع کاپا، تهیه شده از شرکت نگین خوراک پارس)، کربوکسی‌متیل‌سلولز (ساندروز، ژاپن) و کلریدکلسیم (تهیه شده از لابراتوار دکتر مجللی) بود. سیب زرد لبنانی (*Golden delicious*)، چیده شده از باغات شناسنامه‌دار ارومیه، از میادین میوه و تره‌بار مشهد خریداری شده و در دمای 6-4 درجه سانتی‌گراد نگه‌داری گردید. در جدول 1 ویژگی‌های اولیه سیب مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است.

جدول 1- ویژگی‌های اولیه نمونه سیب

فاکتور مورد نظر	میزان
رطوبت (درصد)	85/70±1/83
بریکس	15/76 ± 1/9
چگالی kg /m3	0/98 ±0/06
قند (درصد)	10/8 ± 0/47

محلول‌های اسمزی

محلول‌های اسمزی مورد استفاده در این پژوهش، محلول‌های ساکارز با درجه بریکس 30، 45 و 60 بود. محلول‌ها از انحلال مقدار معینی شکر با آب مقطر در دمای محیط تهیه شده و بریکس آن‌ها توسط دستگاه رفراکتومتر دستی (TYM، چین)، هر روز قبل از شروع آزمایش بررسی می‌شد.

محلول‌های پوشش

از دو پوشش کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز در سه غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد (وزنی- وزنی) به‌صورت یک لایه و دو لایه استفاده شد. محلول‌های کاراگینان پس از انحلال ماده پوشش در آب مقطر، به مدت 45 دقیقه بر روی هیتر 70 درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و با مگنت هم‌زده شده و سپس با همین دما مورد استفاده قرار می‌گرفتند (Matuska *et al*., 2006). محلول‌های کربوکسی‌متیل‌سلولز از انحلال ماده پوشش با آب مقطر، از قبل تهیه و درون بشر در یخچال نگهداری شده و هنگام استفاده، توسط حمام آب (Memmert WB 14, Germany) به دمای 60 درجه سانتی‌گراد می‌رسید.

محلول کلریدکلسیم

به‌منظور تثبیت پوشش بر روی نمونه‌های مکعبی سیب، از محلول کلریدکلسیم 2% (وزنی-وزنی) با دمای 25 درجه سانتی‌گراد استفاده شد (Matuska *et al*., 2006).

مرحله پوشش‌دهی

نمونه‌های مورد نیاز پس از جداسازی بر اساس رنگ و بافت ظاهری، 2 ساعت قبل از شروع آزمایش از سردخانه 4 درجه سانتی‌گراد خارج می‌شدند. سیب‌ها پس از شست‌وشو، ابتدا توسط کاتر مخصوص به خلال‌هایی با سطح مقطع 1سانتی‌متر مربع برش خورده وسپس، توسط یک تیغ به مکعب‌هایی با ابعاد 1 سانتی‌متر مکعب تبدیل شدند. قطعات مکعبی سیب به‌طور هم‌زمان به مدت 30 ثانیه درون محلول پوشش و پس از حدود 1 دقیقه آب چکه شدن محلول‌های اضافی، درون محلول کلرید کلسیم فرو برده شدند. پس از آب چکه شدن محلول کلریدکلسیم، نمونه‌ها جهت خشک شدن محلول پوشش، در آون 70 درجه سانتی‌گراد (Binder-110، آلمان) به مدت 10 دقیقه قرار گرفتند.

برای تهیه نمونه با پوشش 2 لایه، نمونه‌ها پس از 30 ثانیه فرو برده شدن در محلول پوشش و آب چکه شدن، به مدت 10 دقیقه در دمای اتاق درون یک فضای بسته (جهت جلوگیری از تبادل رطوبت با محیط اطراف) قرار گرفتند. سپس دوباره به مدت 30 ثانیه درون محلول پوشش قرار گرفته و بقیه مراحل فوق انجام شد (Matuska *et al*., 2006).

مرحله خشک کردن اسمزی

نمونه‌های پوشش داده شده پس از توزین با ترازو (متلر تولدو، سوئیس، دقت 0/001)، به‌طور ثابت، در دمای محیط(25 درجه سانتی‌گراد) درون محلول‌های ساکارز قرار گرفتند. به‌منظور تداوم گرادیان غلظت و فشار اسمزی نسبت وزنی نمونه به محلول اسمزی 1 به 10 در نظر گرفته شد. با توجه به کمتر بودن دانسیته سیب نسبت به محلول‌های اسمزی، قطعات مکعبی میوه مرتبا در سطح محلول غوطه‌ور شده و اغلب در معرض هوا قرار می‌گیرند. جهت اعمال غوطه‌وری کامل قطعات میوه از زوشی که در شکل 1 نشان داده شده است استفاده گردید.

به‌منظور بررسی سینتیک خشک کردن اسمزی و ترسیم منحنی‌های مربوطه، بخشی از نمونه‌ها در زمان‌های متوالی15 ،30، 60، 90، 150، 210 و 270 دقیقه، از محلول اسمزی خارج شده و پس از شست‌وشوی سطحی جهت حذف محلول‌های باقی‌مانده از روی نمونه و گرفتن آب سطحی آن توسط دستمال حوله‌ای، توزین شده و رطوبت آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. برای تعیین مقدار رطوبت، مقدار مشخصی از نمونه توزین شده و در آون با دمای 70 درجه سانتی‌گراد، به مدت 24 ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. بعد از این مدت نمونه‌ها از آون خارج و پس از سرد شدن در دسیکاتور، توزین گردید (Jena *et al*., 2005).

با استفاده از مقادیر ثبت شده و بر اساس معادلات 1، 2 و 3، درصد جذب مواد جامد (SG) ، میزان درصد حذف آب (WL) و

کارایی فرایند (Pr) به‌ترتیب ذیل محاسبه شدند:

$$SG = \frac{(m \times s) - (m_0 \times s_0)}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

$$WL = \frac{(m_0 \times w_0) - (m \times w)}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

m_0= وزن نمونه قبل از اسمز (gr)

m= وزن بعد از اسمز (gr)

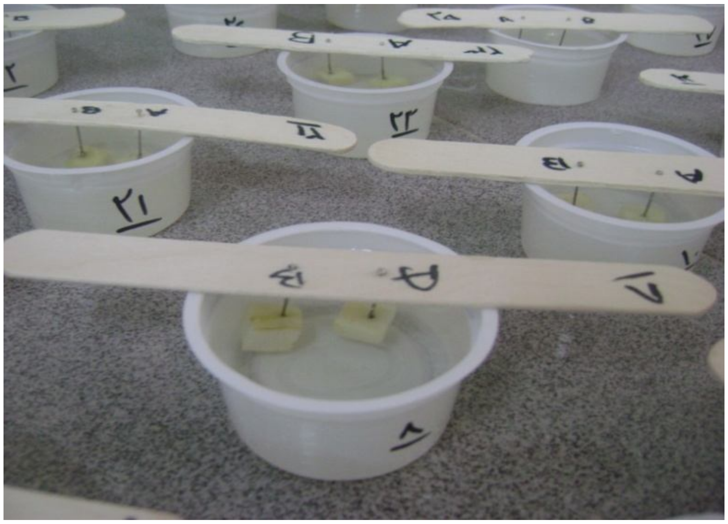
s_0=درصد ماده خشک نمونه قبل از اسمز

s= درصد ماده خشک نمونه بعد از اسمز

w_0= درصد رطوبت نمونه بر پایه مرطوب قبل از اسمز (گرم میوه/ گرم آب)

w= درصد رطوبت نمونه بر پایه مرطوب بعد از اسمز (گرم میوه/ گرم آب)

$$Pr = \frac{WL}{SG} \quad (3)$$



شکل 1- قرار گرفتن نمونه‌های پوشش داده شده درون محلول اسمزی

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و شیوه نمونه‌برداری

داده‌های حاصل، در قالب آزمایشات فاکتوریل، به‌صورت طرح کاملا تصادفی توسط نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. پس از تحلیل واریانس، میانگین‌های اثر نوع پوشش، تعداد لایه، غلظت پوشش و غلظت محلول اسمزی بر شاخص‌های فرایند آبگیری اسمزی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح α=0/05 توسط نرم‌افزار آماری MSTATC مورد مقایسه قرار گرفتند.

تمام آزمون‌ها در 3 تکرار انجام شده و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

تأثیرنوع، تعداد و غلظت لایه پوشش بر شاخص‌های فرآیند اسمز

در شکل 2 تاثیر نوع و تعداد پوشش‌ها و همچنین غلظت ماده پوشش‌دهنده آورده شده است. با توجه به این شکل میزان جذب مواد جامد در پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاراگینان است (P<0/05). کربوکسی‌متیل‌سلولز مورد استفاده در این تحقیق چون از نوع تجاری بوده و ویسکوزیته بالایی داشته است، باعث ایجاد چسبندگی شده و مولکول‌های ساکارز را به خود جذب کرده است، لیکن این امر برای پوشش کاراگینان کمتر بوده است. همان‌طور که Debeaufort و همکاران (1998) به این نکته اشاره کرده‌اندکه کربوکسی‌متیل‌سلولز به‌عنوان پوشش می‌تواند به چسبندگی خمیر گوشت کمک کند و مقدار جذب روغن را طی سرخ کردن کاهش دهد. همچنین با توجه به شکل 2، در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز، با افزایش تعداد لایه پوشش، درصد جذب مواد جامد در مواردی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (p<0/05). و در مواردی بین نمونه‌های پوشش داده شده به‌صورت یک لایه و دو لایه، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (p>0/05). کمترین مقدار درصد جذب مواد جامد، در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان یک لایه و با غلظت پوشش 1 درصد (4/5%) به‌دست آمد.

دلیل این که با افزایش لایه، میزان جذب مواد جامد زیاد شده است می‌تواند ناشی از افزایش اندکی در قطر و درنتیجه افزایش سطح کل نمونه باشد, که این افزایش سطح, سطح در تماس با محلول اسمزی را افزایش داده و جذب مواد جامد تشدید می‌گردد. افزایش

مقدار مواد جامد در لایه مرزی، منجر به افزایش شیب غلظت شده و درنتیجه، نمونه‌ها آب بیشتری از دست داده‌اند. به عبارت دیگر، در حالت دولایه، به خاطر جذب مواد جامد بیشتر در لایه مرزی، فشار اسمزی افزایش یافته و نیروی محرکه لازم برای خروج آب بیشتر از محصول فراهم می‌شود.

مطابق شکل 2 مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت محلول پوشش از 0/5 به 1/5 درصد، جذب مواد جامد در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان به‌ترتیب، به‌طور معنی‌داری افزایش و کاهش می‌یابد (p<0/05). به‌گونه‌ای که بیشترین درصد جذب مواد جامد مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با 1/5 درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز (8/9 درصد) و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با 1/5 درصد کاراگینان (4/5 درصد)است.

پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز با افزایش غلظت، محلول ویسکوزتری ایجاد کرده و لذا با افزایش ویسکوزیته، میزان چسبندگی و متعاقب آن مقدار جذب ساکارز محلول، افزایش یافته است و این پدیده منجر به ایجاد سد قوی‌تری در برابر خروج آب شده است. در پژوهش Lenart و همکاران (1999) نیز با افزایش غلظت محلول پکتین از 2 به 4%، میزان جذب مواد جامد افزایش یافته است.

با افزایش غلظت محلول کاراگینان علاوه بر کوچک شدن منافذ، لایه سخت‌تری بر روی نمونه‌های سیب ایجاد می‌شود که سدی در برابر انتقال مواد است. این موضوع، نفوذ ماده جامد به درون بافت و خروج آب از بافت سیب را کاهش داده است.

شکل2- اثر نوع، تعداد و غلظت لایه پوشش بر درصد جذب مواد جامد نمونه‌های سیب اسمز شده

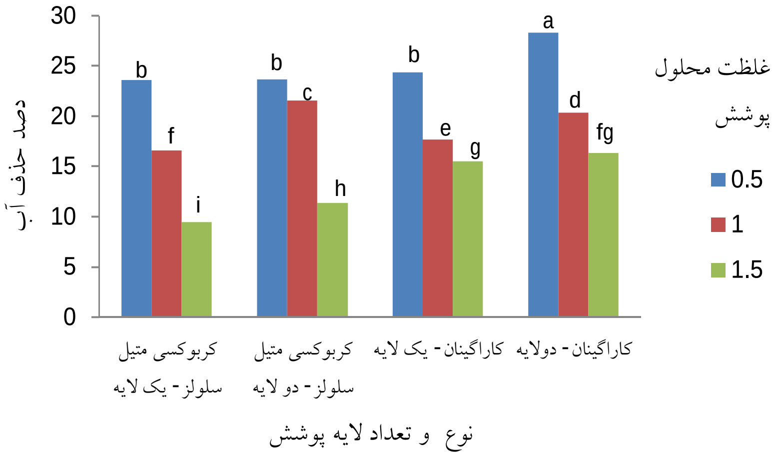
افزایش بیشتر مواد جامد می‌تواند منجر به کاهش درصد حذف آب شده و این پدیده به ایجاد سدی در برابر خروج آب منتهی می‌شود (Matuska *et al.*, 2006). لذا همان طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود، نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز به دلیل جذب مواد جامد بیشتر، آب کمتری از دست داده‌اند.

به‌طورکلی با افزایش تعداد لایه پوشش، در اکثر موارد درصد حذف آب به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (p<0/05). همچنین درصد حذف آب در نمونه‌هایی که به‌صورت یک لایه و دو لایه با کاراگینان پوشش داده شده‌اند به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز است (p<0/05). کمترین مقدار درصد حذف آب در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز یک لایه و با غلظت 1/5 درصد (9/47 %) و بیشترین مقدار آن، در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان دو لایه و با غلظت 0/5 درصد (28/27%) به‌دست آمد. Matuska و همکاران (2006) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که پوشش دو لایه آلژینات سدیم نسبت به یک لایه می‌تواند منجر به افزایش درصد حذف آب شود.

همچنین همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول‌های پوششی کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان، درصد حذف آب به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند (p<0/05). این امر می‌تواند به علت شبکه‌ای باشد که این دو هیدروکلوئید به‌عنوان پوشش خوراکی ایجاد می‌کنند. چون با افزایش غلظت، شبکه در هم پیچیده‌تری ایجاد می‌شود، منافذ کوچک‌تر شده و خروج آب کمتر شده است. به عبارت دیگر، با افزایش غلظت پوشش، تمایل جذب آب مولکول‌های هیدروکلوئید افزایش یافته، مسیر خروج آب مسدودتر و طولانی تر شده و خروج آن به سختی انجام می‌گیرد.

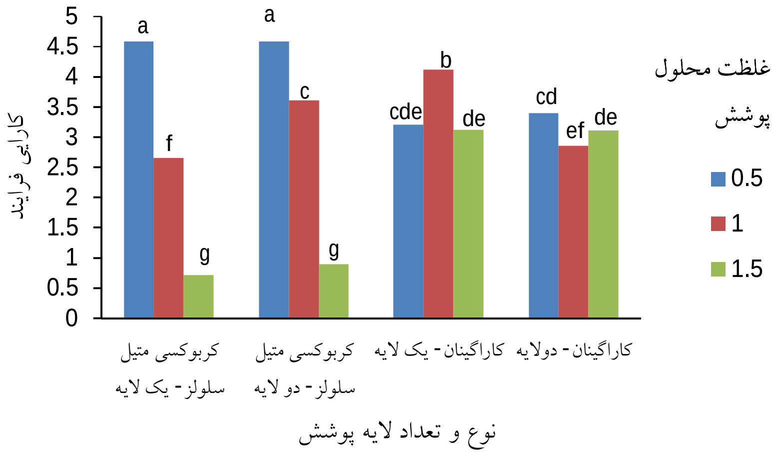
نتایج حاصل از تحلیل آماری نشان می‌دهد که کارایی فرایند در نمونه‌های دو بار پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز بیشتر از

نمونه یک بار پوشش داده شده است ولی در رابطه با کاراگینان این موضوع برعکس است. بیشترین مقدار کارایی فرایند در نمونه‌های یک و دو بار پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز (برابر 4/58) به‌دست آمد. نتایج کارایی فرایند در شکل 4 قابل مشاهده است.



شکل 3- اثر نوع، تعداد و غلظت لایه پوشش بر درصد حذف آب نمونه‌های سیب اسمز شده

همچنین شکل 4 اثر غلظت محلول پوششی بر کارایی فرایند دو نوع پوشش مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول پوشش از 0/5% به 1/5%، کارایی فرایند در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (p<0/05). به‌گونه‌ای که بیشترین و کمترین کارایی فرایند به‌ترتیب، مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز 0/5% و 1/5% برابر با 4/58 و 0/72 است. در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان، بیشترین کارایی فرایند مربوط به پوشش 1% و برابر 4/12 است.



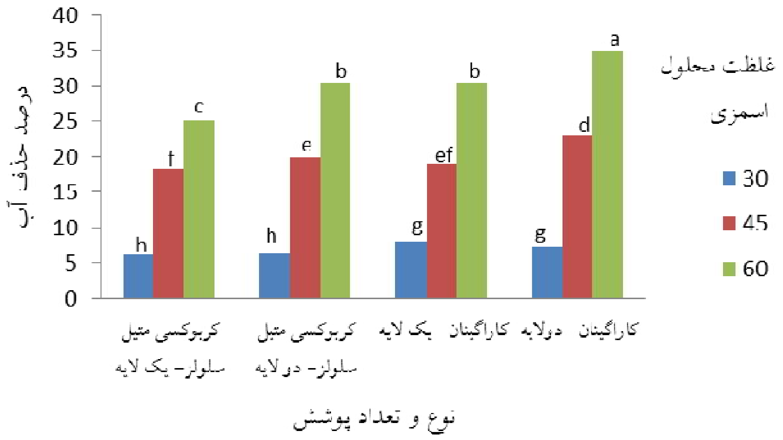
شکل 4- اثر نوع، تعداد و غلظت لایه پوشش بر کارایی فرایند نمونه‌های سیب اسمز شده

تاثیر غلظت محلول اسمزی (ساکارز) و نوع و تعداد پوشش بر شاخص‌های فرآیند اسمز

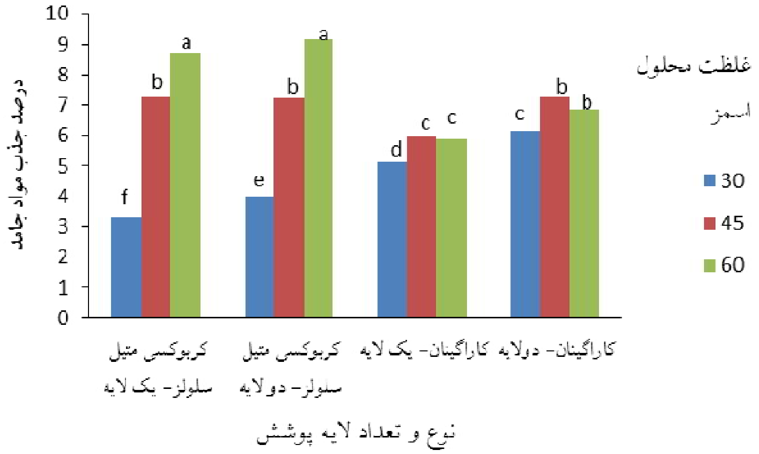
با توجه به شکل 5 می‌توان مشاهده کرد که تمامی نمونه‌ها با افزایش غلظت محلول اسمزی، به‌طور معنی‌داری آب بیشتری در طی فرایند اسمز از دست می‌دهند (p<0/05). به‌طور کلی، میزان حذف آب در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان نسبت به کربوکسی‌متیل‌سلولز بطور معنی‌داری بیشتر می‌باشد (p<0/05). نتایج این پژوهش با نتایج Deghannya و همکاران (2006) و

Khin و همکاران (2006) مطابقت دارد. علت اینکه با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان آب بیشتری از نمونه‌ها خارج می‌شود این است که با افزایش غلظت محلول اسمزی، فشار اسمزی محلول غلیظ‌تر افزایش می‌یابد و در نتیجه، نیاز به جریان حجم بیشتری از آب و خروج بیشتر آن در جهت رسیدن به تعادل افزایش می یابد.

همان طور که در شکل 6 می توان مشاهده کرد، با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان جذب مواد جامد در تمامی تیمارهای کربوکسی متیل سلولز و با افزایش غلظت محلول اسمزی از 30 به 45 درصد در تیمارهای کاراگینان به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (p<0/05). در پایین ترین غلظت محلول اسمزی، میزان جذب مواد جامد در نمونه های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز، حداقل است ولی با افزایش غلظت محلول اسمزی، نمونه های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز مقدار مواد جامد بیشتری نسبت به نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان جذب می‌کنند. به‌طوری که بیشترین درصد جذب مواد جامد مربوط به نمونه های پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز و تیمار شده در ساکارز 60 درصد، برابر با 9/16 درصد است. درصد جذب مواد جامد در نمونه های پوشش داده شده با کاراگینان در محدوده 5/13 تا 7/26 به‌دست آمد. با توجه به تحلیل‌های آماری، اختلاف معنی‌داری بین درصد جذب مواد جامد در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان تیمار شده در ساکارز 45 و 60 وجود ندارد (p>0/05).



شکل 5- اثر غلظت محلول اسمزی (ساکارز) و نوع و تعداد پوشش بر درصد حذف آب نمونه‌های سیب اسمز شده



شکل 6- اثر غلظت محلول اسمزی (ساکارز) و نوع و تعداد پوشش بر درصد جذب مواد جامد نمونه‌های سیب اسمز شده

با افزایش غلظت محلول اسمزی،گرادیان فشار اسمزی بین نمونه و محیط اسمزی که نیروی محرکه جهت انتقال مواد است، افزایش می‌یابد. لذا افزایش فشار اسمزی، انتخاب‌پذیری غشای سلول را کاهش می‌دهد. در نتیجه، ماده غذایی با مواد جامد محلول بیشتری روبرو شده و میزان جذب مواد جامد افزایش می‌یابد (Khin *et al.*, 2006). نتایج این پژوهش با نتایج محققانی همچون Khin و همکاران (2006) و Mandala و همکاران (2005) مطابقت دارد.

با توجه به تحلیل‌های آماری مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان کارایی فرایند، در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (p<0/05). بیشترین میزان کارایی فرایند در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز در غلظت محلول اسمزی 45 درجه بریکس (3/47 درصد) و در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان در غلظت محلول اسمزی 60 درجه بریکس (5/59 درصد) به‌دست آمد. به‌طور کلی، کارایی فرایند در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان بیشتر است. نتایج را می‌توان در شکل 7 مشاهده کرد.

شکل 7- اثر غلظت محلول اسمزی (ساکارز) و نوع تعداد پوشش بر کارایی فرایند نمونه‌های سیب اسمز شده

مقایسه بین نمونه های پوشش‌دهی شده و نمونه‌های بدون پوشش (شاهد)

در بخش‌های قبل به بررسی تاثیر دو نوع پوشش کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز بر فرایند اسمز پرداختیم. با توجه به تحلیل‌های آماری مشاهده شد که در رابطه با کربوکسی‌متیل‌سلولز، نمونه‌های یک لایه با غلظت 0/5% و در رابطه با کاراگینان، نمونه‌های یک لایه با غلظت 1/5% کمترین میزان مواد جامد محلول را جذب کرده‌اند.

ولی همان‌طور که قبلا نیز گفته شد، پوششی می‌تواند در فرایند اسمز کارآمد باشد که علاوه بر کاهش میزان جذب مواد جامد، باعث کاهش خروج آب از بافت محصول نشود. به همین دلیل از شاخص کارایی فرایند استفاده می‌شود. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده در این پژوهش، بیشترین کارایی فرایند در بین نمونه‌های پوشش داده شده، مربوط به نمونه‌های یک و دو لایه پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز در محلول ساکارز 45% و نمونه‌های یک لایه پوشش داده شده با کاراگینان 1% در محلول ساکارز 60% است. بنابراین، این تیمارها به‌عنوان تیمارهای برتر و منتخب معرفی می‌شود. اگر بخواهیم مقایسه‌ای بین نمونه های پوشش‌دهی شده و شاهد داشته باشیم، با توجه به جدول 2 می‌بینیم که به‌طور کلی، درصد جذب مواد جامد نمونه‌های منتخب پوشش داده شده، کمتر و درصد حذف آب و کارایی فرایند آن‌ها بیشتر از نمونه‌های شاهد (بدون پوشش) است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش غلظت محلول پوشش خوراکی از 0/5 به 1/5%، درصد حذف آب کاهش یافته و با افزایش غلظت محلول اسمزی از 30 درجه بریکس به 60 و افزایش تعداد لایه پوششی، درصد حذف آب افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان نسبت به کربوکسی‌متیل سلولز در طی فرایند اسمز آب بیشتری از دست داده‌اند. همچنین به‌طور کلی، میزان جذب مواد جامد در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز بیشتر از نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان بوده است. با افزایش تعداد لایه پوشش خوراکی کربوکسی‌متیل‌سلولز، غلظت محلول اسمزی از 30 به 60 درجه

بریکس و غلظت محلول پوشش از 0/5 به 1/5%، میزان جذب مواد جامد در طی فرایند اسمز در نمونه های پوشش داده شده افزایش می‌یابد. در مورد نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان، با افزایش لایه و غلظت محلول پوشش از 0/5 به 1/5%، مقدار جذب مواد جامد به‌ترتیب، افزایش و کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت محلول اسمزی تا 45 درجه بریکس، میزان جذب مواد جامد افزایش یافته ولی افزایش بیشتر آن، تاثیر معنی‌داری بر آن ندارد. بالاخره این که در این پژوهش، امکان استفاده از دو نوع پوشش خوراکی تجاری، در بهبود فرایند اسمز سیب بررسی شد. نتیجه این است که نمی‌توان با قاطعیت گفت که یک نوع پوشش عملکرد فرایند اسمز را بهبود می‌بخشد یا نه؟ این موضوع کاملا بستگی به متغیرهای مختلف فرایند دارد. در پژوهش حاضر، تعداد 36 تیمار مختلف مورد بررسی قرار گرفت و بهترین تیمارها، نمونه پوشش داده شده یک لایه با کاراگینان 1% در ساکارز 60 % ونمونه‌های یک و دو لایه پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل سلولز 0/5% در ساکارز 45 % به‌دست آمد که تقریبا 50 درصد کارایی فرایند بالاتری نسبت به نمونه شاهد (بدون پوشش) داشتند.

جدول 2- میانگین درصد حذف آب، جذب مواد جامد و کارایی فرایند نمونه‌های سیب بدون پوشش و تیمارهای بهینه پوشش‌دهی شده با کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز

نوع تیمار	غلظت محلول اسمزی (%)	WL (%)	SG (%)	Pr
بدون پوشش	30	10/744	3/159	3/412
بدون پوشش	45	25/886	6/468	4/019
بدون پوشش	60	29/462	7/218	4/135
%کاراگینان 1 لایه 1	30	8/09	5/13	1/57
%کربوکسی متیل سلولز 1 لایه 0/5	45	28/283	4/635	6/101
%کربوکسی متیل سلولز 2 لایه 0/5	60	28/663	4/647	6/201

منابع

Debeaufort, F., Quezada-Gallo J., 1998, Edible Films and Coatings: Tomorrow's Packagings: A Review Critical Reviews. *Food Science and Nutrition*, 38(4): 299-313.

Dehghannya, J., Emam-Djomeh, Z., 2006. Osmotic Dehydration of Apple Slices with Carboxy-Methyl Cellulose Coting. *Drying Technology*, 24, 45-50.

Farzaneh1, P., Fatemian, H., Hosseini1 E., Asadi1, Gh. H., and Darvish, F., 2011, A Comparative Study on Drying and Coating of Osmotic Treated Apple Rings. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 2, 2.

Garcia, M., Díaz, R., Martínez, Y., Casariego, A., 2010, Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Research International* 43: 1656–1660.

Jalaee, F., Fazeil, A., Fatemain, H., Tavakolipour, H, 2010, Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating, *Food and Bioproducts Processing* 89, 367- 374.

Jena, S., Das, H., 2005, Modeling for moisture variation during osmo-concentration in apple and pineapple. *Journal of Food Engineering*, 66, 425-432.

Khin, M. M., Zhou, W., 2005, Development in the Combined Treatment of Coating and Osmotic Dehydration of Food-A Review. *Journal of Food Engineering*, 1(1), Article 4.

Khin, M. M., Zhou, W., 2006, A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77(1), 84-95.

Khin, M. M., Zhou, W., 2007, Mass transfer in the osmotic dehydration of coated apple cubes by using maltodextrin as the coating material and their textural properties. *Journal of Food Engineering*, 81(3), 514-522.

Lazarides, H. N., Mitrakas, G. E., 2007, Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 171-177.

Lenart, A., Dabrowska, R., 1999, Khinetics of osmotic dehydration of apple with pectin coatings. *Drying technology An International*, 17(7), 1359- 1373.

Mandala, I. G., Anagnostaras, E. F., 2005, Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 307- 316.

Matuska, M., Lenart, A., 2006, on the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 85-91.

Mundada, M., Singh Hathan, B. and Maske S, 2011, Mass Transfer Kinetics during Osmotic Dehydration of Pomegranate Arils. *Journal of Food Science*, 76(1).

Nieto, B. M., 2009, Structure and Function of Polysaccharide Gum-Based Edible Films and Coatings.In: Edible Films and Coatings for Food Applications. Eds. Embuscado, E.E., Huber, K.C. *Springer*. P: 57-112.

Silva, M., Zaqueu Ernesto da Silva, Z. E, Mariani, V. C, Darche, S., 2012, Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. LWT - *Food Science and Technology* 45.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 680-690

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 690-680

Evaluating the influence of number of layers and concentration of carboxy-methyl cellulose and carrageenan coating on osmotic dehydration performance of *Golden delicious* apple

E. Sadati Gol-afshani[1], S. M. Jafari[2*], Sh. Beyraghi Toosib, M. Kashani- Nejada, M. Ganjeha

Received: 2016.02.03
Accepted: 2016.04.23

Introduction: Osmotic dehydration involves the partial removal of water by direct contact of a product with a hypertonic medium such as high concentration of sugar, salt or sugar-salt solutions. In this process, food pieces are immersed in a hypertonic solution. The natural membrane of food cells acts as a semipermeable layer so the water moves across the membrane from an area of high water potential (low solute concentration) to an area of low water potential (high solute concentration), meaning the driving force for water removal is the concentration gradient between the solution and the intracellular fluid. During osmotic dehydration, osmotic solute is absorbed by food materials and has undesirable effects on water removal, nutritional and organoleptic properties. Use of coating improves the osmotic processing. Best factor for evaluation of coating material is performance ratio (WL/SG). So a coating should reduce solid uptake without negative effects on water removal.

Materials and methods: The apples (*Golden delicious*) used in this study were purchased from a local market in Mashhad (Iran) and stored at 4-6°C before processing. The sucrose (99.9%, Fariman sugar company, Iran), carrageenan (kappa type, Negin Khorak Pars Company, Iran), carboxy methyl cellulose (sandros, Japan) and calcium chloride (Dr. Mojallali Lab., Iran) were also used. In this work, apple cubes were single and double coated in three concentrations (0.5, 1 and 1.5% w/w) of carboxy methyl cellulose (CMC) and carrageenan solution and dehydrated osmotically in different concentrations (30, 45 and 60˚ BX) of sucrose solutions.

Results and Discussion: The results of this study indicated that increasing coating solution concentration from 0.5% to 1.5% decreased water loss. Also the water loss increased when the number of coating layers and the concentration of osmotic solution increased (from 30 to 60 ˚ BX). Generally, water loss and solids uptake in the samples coated with carrageenan was higher and lower than their CMC counterparts, respectively. The solids uptake in the samples coated with CMC increased by increasing the number of layers, osmotic solution concentration (from 30 to 60˚BX) and coating solution concentration (from 0.5 to 1.5%). The solids uptake increased and decreased with increase in layer number and coating solution concentration (from 0.5% to 1.5%), respectively. Increasing the osmotic solution concentration up to 45 ˚ BX increased solids uptake but, more increasingly did not have a significant effect on it. Finally, it cannot be said strictly that one coating type would facilitate osmotic process or not. It depends on various process factors. Among the 36 treatments studied in this research, the single coated samples with 1% carrageenan treated in 60 ˚ BX sucrose solution and the single and double coated samples with 0.5% CMC treated in 45 ˚ BX sucrose solution were the best, as they had 50% higher performance ratio than control (uncoated) sample.

Key words: Edible coating, Solids uptake, Golden delicious apple, Performance ratio, Osmotic dehydration.

1, 2, 3 and 5. Former MSc Student, Associate Professor, Professor and Former PhD Student, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4. Academic Member, Food Processing Research Department, Food Science and Technology Research Institute, ACECR (Iranian Academic Center for Education, Culture and Research), Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: smjafari@gau.ac.ir)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 691-703

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 703-691

بررسی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده و سینتیک تغییرات بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در آب داغ

حامد بیکی[1]- ناصر همدمی[2]*- جلال پورتقی[3]

تاریخ دریافت: 1395/02/17
تاریخ پذیرش: 1395/08/01

چکیده

ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده با و بدون در نظر گرفتن اثر تولید آن‌ها و همچنین سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در آب داغ در محدوده دمایی 50 تا 90°C مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و در قالب طرح‌های فاکتوریل و کاملا تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) و آزمون اثر متقابل تیمارها به روش LS means در سطح اطمینان 95% صورت گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که افزایش دمای آنزیم‌بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء می‌شود. در نظر گرفتن اثر تولید قندهای احیاء سبب افزایش معنی‌دار (P<0/05) ضریب نفوذ مؤثر آن‌ها گردید که بیشترین مقدار (30/63%) این افزایش در دمای 50 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. جهت مدل‌سازی انتقال جرم (قند احیاء) طی آنزیم‌بری، یک مدل عددی سه بعدی با ضریب نفوذ مؤثر ثابت بر اساس حل قانون دوم فیک در نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شد. مدل عددی ارائه شده انطباق بالایی با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد. افزایش دما و زمان آنزیم‌بری از سوی دیگر به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب کاهش سفتی بافت خلال‌های سیب‌زمینی شد. برای توصیف تغییرات سفتی بافت طی آنزیم‌بری، مدل‌های سینتیکی متفاوتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل سینتیکی درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول، بیشترین انطباق را با داده‌های آزمایشگاهی مربوط به کاهش سفتی بافت خلال داراست.

واژه‌های کلیدی: ضریب نفوذ مؤثر، تولید قند احیاء، سفتی بافت، مدل عددی، مدل سینتیکی.

مقدمه

سیب‌زمینی با تولید جهانی بیش از 325 میلیون تن در سال، محصول غیر دانه‌ای شماره یک جهان است. کشورهای چین، روسیه، هند، ایالات متحده آمریکا و اکراین تولیدکنندگان پیشرو سیب‌زمینی هستند (Bingol *et al*., 2014). خلال سیب‌زمینی سرخ شده با توجه به خصوصیات طعمی و بافتی ویژه بیشترین میزان تولید را در بین محصولات فرآوری شده سیب‌زمینی دارد (Van Loon *et al*., 2005). تیمار حرارتی سیب‌زمینی سبب ایجاد تغییرات شیمیایی، فیزیکی و ساختاری در آن می‌گردد که دامنه این تغییرات بستگی به دما و زمان فرایند حرارتی دارد. تیمارهای حرارتی سیب‌زمینی شامل آنزیم‌بری، پخت و سرخ کردن می‌باشند (Moyano *et al*., 2007). آنزیم‌بری فرآیندی است که در آن میوه و سبزی به‌منظور غیرفعال شدن آنزیم‌ها، هوازدایی و اصلاح بافت، حفظ رنگ، طعم و ارزش غذایی قبل از انجماد، کنسرو کردن، خشک کردن یا سرخ کردن حرارت داده می شوند (Goncalves *et al*., 2010). در صنعت معمولا از آب داغ و بخار برای آنزیم‌بری استفاده می‌شود. اخیرا از تکنیک پرتودهی مادون قرمز نیز جهت آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی به‌منظورکاهش جذب روغن در محصول نهایی استفاده شده است (Bingol *et al*., 2014). اگرچه آنزیم‌بری یک عملیات ساده به نظر می‌رسد اما انتقال حرارت در یک بستر سیال محصول و اثرات آن بر ویژگی های کیفی، مدل‌سازی مکانیسم‌های درگیر را بسیار مشکل می‌سازد. شرایط فراوری معمولا براساس غیرفعال شدن آنزیم‌ها تنظیم می‌گردد اما پارامترهای کیفی دیگر از قبیل رنگ و بافت نیز بایستی در نظر گرفته شوند (Zhiqiang Liu *et al*., 2007). آنزیم‌بری قبل از سرخ کردن سبب بهبود بافت و رنگ می‌شود و در برخی موارد به‌واسطه ژلاتیناسیون نشاسته سطحی می‌تواند جذب روغن را کاهش

1و 2- به‌ترتیب کارشناس‌ارشد و دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
3- دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: Email: hamdami@cc.iut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55744

دهد (Kaymak *et al.*, 1994). آنزیم‌بری در مراحل تولید خلال سیب‌زمینی سرخ شده معمولا با حرارت دادن در آب یا بخار در محدوده دمایی 85 –60 درجه سانتی‌گراد به مدت 40 – 20 دقیقه انجام می‌شود. دما و زمان دقیق آنزیم‌بری عمدتا به‌وسیله میزان قندهای احیاءکننده و خصوصیات بافتی گونه مورد نظر تعیین می‌شود (Aguilar *et al.*, 1997). طی یک دوره زمانی طولانی بافت به‌عنوان یک ویژگی کیفی کمکی برای سنجش مقبولیت مواد غذایی شناخته شده است. بافت ماده غذایی به‌عنوان خصوصیتی تعریف شده است که در آن اجزای ساختاری ماده غذایی بر اساس نشانه‌های خارجی دارای طیفی از ریز ساختار تا درشت ساختار طبقه‌بندی می‌شوند. روش‌های عمده ارزیابی بافت مواد غذایی بر اساس آزمون‌های مکانیکی بوده و آزمون نفوذسنجی به فراوانی جهت ارزیابی بافت مواد غذایی به‌کار می‌رود (Nisha *et al.*, 2006). در دمای آنزیم‌بری نشاسته به‌طور جزئی ژلاتینه شده اما چسبندگی درون سلولی حفظ می‌شود (Aguilar *et al.*, 1997). تفاوت اصلی در ظاهر بافت آنزیم‌بری شده در مقایسه با بافت پخته شده در این است که در آنزیم‌بری شکل اصلی سلول‌ها حفظ شده و حتی بعد از فرآیندهای بعدی نیز تغییر نمی‌کند. باید توجه داشت که آنزیم‌بری بیش از حد نیز باعث کاهش عمده در مواد مغذی، عطر و طعم، رنگ و بافت می‌شود. بنابراین تعیین دما و زمان آنزیم‌بری برای تولید محصولی با کیفیت مطلوب ضروری است (Richter Reis *et al.*, 2007). دمای بالای آنزیم‌بری سبب آسیب‌های ساختاری و تقلیل بافت سبزیجات می‌گردد (Anderson *et al.*, 1994). آنزیم‌بری در محدوده دمایی 75 –55 درجه سانتی گراد باعث بهبود سفتی و استحکام بافت سبزیجات می‌شود و آسیب‌های فیزیکی و پوسته شدن طی فرایند را کاهش می‌دهد (Verlinden *et al.*, 2000). بنابراین یک تیمار آنزیم‌بری شامل دمای پایین و زمان نسبتا طولانی به دنبال دمای بالا و زمان کوتاه در به حداقل رساندن آسیب‌های بافتی سبزیجات و غیرفعال کردن آنزیم‌های نامطلوب مؤثرتر است (Pedreschi *et al.*, 2009). برخی محققین شرایط بهینه جهت آنزیم‌بری سیب‌زمینی را در محدوده دمایی 65 –60 درجه سانتی گراد به مدت 35- 25 دقیقه به‌منظور حصول خصوصیات بافتی مطلوب ذکر کرده‌اند (Canet *et al.*, 2005). جهت پیش‌بینی کاهش سفتی بافت طی فرآوری و نگهداری مواد غذایی، برآورد شاخص‌های سینتیکی شامل ثابت سرعت (k) و انرژی فعال‌سازی (E_a) ضروری است (Stoneham *et al.*, 2000). توصیف تغییرات بافت سبزیجات طی فرآیندهای آنزیم‌بری و پخت عمدتا از طریق سینتیک درجه اول و در نظر گرفتن یک یا دو فاز مجزای نرم شدن بافت (فاز ابتدایی سریع و متعاقبا فاز آهسته) انجام شده است (Rahardjo *et al.*, 1993; Anzaldua-Maroles *et al.*, 1996; Nisha *et al.*, 2006). مدل سینتیکی دیگری نیز بر اساس واکنش‌های شیمیایی برگشت‌ناپذیر جهت توصیف تغییرات بافت طی فرآیندهای حرارتی برخی از محصولات سیب‌زمینی پیشنهاد شده است (Moyano *et al.*, 2007).

رنگ سیب‌زمینی سرخ شده در اثر انجام واکنش میلارد و تشکیل آکریل آمید در محصول می‌باشد (Mottram *et al.*, 2002; Stadler *et al.*, 2002). آکریل آمید در اثر واکنش میلارد بین سوبستراهای قند احیاءکننده و آسپارژین موجود در سیب‌زمینی طی سرخ کردن تشکیل می‌شود و سرطان‌زایی آن در موش به اثبات رسیده است. میزان این سوبستراها را می‌توان از طریق آنزیم‌بری سیب‌زمینی در آب داغ کاهش داد (Pedreschi *et al.*, 2004). نتایج تحقیقات نشان داده است که کاهش مقدار قندهای احیاء قبل از سرخ کردن، یک عامل مؤثر جهت کاهش مقدار آکریل آمید در خلال سیب‌زمینی سرخ شده است (Sanny *et al.*, 2012). انتقال جرم در فرآیندهای صنایع غذایی اهمیت بسیاری دارد و شامل انتقال رطوبت، نفوذ (انتشار) مواد محلول و ترکیبات عطری و طعمی می‌باشد (Welti-changes *et al.*, 2003). خروج قندهای احیاء از بافت سبزیجات طی آنزیم‌بری بر اساس پدیده نفوذ صورت می‌گیرد (Kaymak *et al.*, 1994). Garrote و همکاران (1984) با در نظر گرفتن هندسه تیغه (اسلب) نامحدود برای ورقه‌های سیب‌زمینی، ضریب نفوذ مؤثر گلوکز را طی آنزیم‌بری در محدوده دمایی 85 –65 درجه سانتی گراد بر اساس حل قانون دوم فیک اندازه‌گیری کردند. در مطالعه دیگری، سینتیک خروج قندهای احیاء طی آنزیم‌بری ورقه‌های سیب‌زمینی در محدوده دمایی 90 –60 درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفته و یک مدل تک بعدی بر اساس حل قانون دوم فیک جهت توصیف خروج قندهای احیاء ارائه شده است (Pedreschi *et al.*, 2009).

در مطالعات پیشین در زمینه تغییرات میزان قندهای احیاءکننده طی آنزیم‌بری سیب‌زمینی، مشخص شده است که در کنار انتقال جرم به داخل آب بلانچر، احتمالا به دلیل هیدرولیز آنزیمی نشاسته، قندهای احیاءکننده می‌توانند تولید شوند. بنابراین هنگام پیش‌بینی تغییر غلظت قندهای احیاءکننده، هر دو مکانیسم بایستی در نظر گرفته شوند (Califano *et al.*, 1983).

با توجه به مطالب مذکور تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تأثیر تولید داخلی قندهای احیاء بر ضریب نفوذ مؤثر آن‌ها طی آنزیم‌بری انجام نشده است و مطالعه جامعی در ارتباط با سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف در دسترس نیست. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده و همچنین ارتباط مستقیم قندهای احیاءکننده با واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و تشکیل آکریل آمید در سیب‌زمینی، اهداف تحقیق کنونی عبارتند از: 1) تعیین ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء با و بدون در نظر گرفتن اثر تولید آن‌ها طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در محدوده دمایی 90 –50 درجه سانتی گراد و توسعه یک مدل سه‌بعدی انتقال جرم (قندهای احیاء) بر اساس حل قانون دوم فیک در نرم‌افزار MATLAB، 2) بررسی و مدل‌سازی

سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در محدوده دمایی 90 –50 درجه سانتی گراد. با توجه به اهمیت فرآیند آنزیم‌بری و لزوم انجام آن قبل از سرخ کردن سیب‌زمینی، شناخت و بررسی پدیده‌های درگیر در فرآیند مذکور امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

سیب‌زمینی با رقم آگریا (23% ماده خشک) به میزان 100 کیلوگرم از منطقه فریدن اصفهان خریداری و در سردخانه دانشکده کشاورزی در دمای 4 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90% نگهداری شد.

تهیه خلال‌های سیب‌زمینی و آنزیم‌بری

سیب‌زمینی‌ها قبل از مصرف به مدت 2 هفته در دمای 20 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از شستشو و پوست‌گیری توسط دستگاه خلال‌کن (Halldeh، RG-100، سوئد) به‌صورت خلال‌هایی با ابعاد 0/8×0/8×8 سانتی‌متر برش داده شدند. خلال های سیب‌زمینی خام بلافاصله پس از برش به‌منظور حذف نشاسته سطحی به مدت 1 دقیقه در آب مقطر شستشو شده سپس آنزیم‌بری خلال‌ها در آب مقطر داغ (با نسبت وزنی سیب‌زمینی به آب 1 به 20) با دماهای 50، 60، 70، 80 و 90 درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. جهت بررسی سینتیک تولید قندهای احیاءکننده طی آنزیم‌بری، خلال‌ها به‌صورت 2 تایی در بسته‌های پلی‌اتیلنی (HDPE با ضخامت 10 میکرون) بسته‌بندی شده و با غوطه‌وری در حمام آب در دماهای 50، 60، 70، 80 و 90 درجه سانتی‌گراد آنزیم‌بری شدند. نمونه‌های خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در فواصل زمانی 5، 10، 15، 20، 40، 60، 80، 100 و 120 دقیقه جهت اندازه‌گیری قندهای احیاءکننده، محتوای رطوبت و سفتی بافت از حمام آب خارج شدند.

تعیین رطوبت

برای اندازه‌گیری رطوبت، 5-3 گرم نمونه کاملا خرد و همگن شده به مدت 24 ساعت در آون خلأ (Fine Tech، SSVO-502، کره جنوبی) تحت فشار 100 میلی‌متر جیوه و دمای 70 درجه سانتی‌گراد خشک گردید. میزان رطوبت نمونه‌ها بر اساس معادله 1 محاسبه گردید (AOAC, 1984).

(1) 100× وزن اولیه نمونه/ (وزن نهایی نمونه- وزن اولیه نمونه)= درصد رطوبت

قندهای احیاء کننده

اندازه‌گیری قندهای احیاء کننده به روش اسپکتروفوتومتری با محلول 3 و5- دی نیترو سالیسیلیک اسید در طول موج 575 نانومتر انجام شد (Miller, 1959). مطابق با روش مذکور حدود 3 گرم نمونه خرد و همگن شده با 20 میلی‌لیتر اتانول 70% داغ به مدت 30 ثانیه ورتکس شد. پس از عبور دادن مخلوط از کاغذ صافی، محلول حاصله با آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسیده و به مدت 10 دقیقه با سرعت 3000 دور در دقیقه سانتریفوژ شد. سپس جهت حذف کلیه ناخالصی‌های غیرقندی، محلول مورد نظر از فیلتر 0/45 میکرون عبور داده شد. 3 میلی‌لیتر از محلول صاف شده نهایی همراه با 3 میلی‌لیتر از محلول 1% دی نیترو سالیسیلیک اسید به درون لوله آزمایش انتقال یافت. نمونه شاهد (آب مقطر) و استانداردهای گلوکز (غلظت‌های 50، 100، 200 و 400 میلی‌گرم در لیتر گلوکز) نیز هر کدام به میزان 3 میلی‌لیتر همراه با 3 میلی‌لیتر محلول 1% دی نیترو سالیسیلیک اسید به لوله‌های مجزا انتقال داده شدند. لوله‌ها به مدت 15- 10 دقیقه جهت انجام واکنش و پیدایش رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای به حمام آب 90 درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند. پس از خروج لوله‌ها از حمام، به هریک از لوله‌ها 1 میلی‌لیتر از محلول 40% سدیم پتاسیم تارتارات (جهت پایداری کمپلکس رنگی) اضافه گردید و بلافاصله لوله‌ها با آب سرد تا دمای محیط خنک شده و جذب هر نمونه با استفاده از اسپکتروفوتومتر (Unico،uv-1200، آمریکا) در طول موج 575 نانومتر تعیین گردید. پس از رسم منحنی کالیبره کردن (مقدار جذب به‌عنوان تابعی از غلظت) برای محلول‌های استاندارد و پیدا کردن معادله خط، با داشتن مقدار جذب نمونه، غلظت قندهای احیاءکننده در نمونه موردنظر تعیین شد.

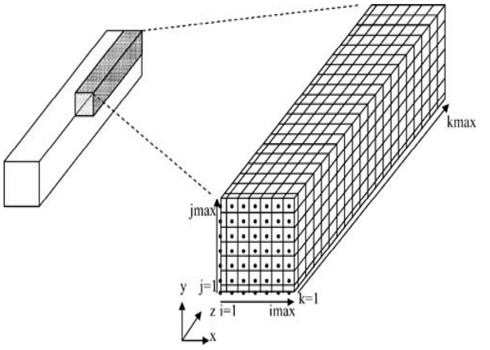
ارزیابی بافت

ارزیابی بافت خلال‌ها در دمای اتاق و با استفاده از آزمون نفوذسنجی با پروب 2 میلی‌متری، سرعت نفوذ 120 میلی‌متر بر دقیقه و لودسل 50 کیلوگرم در دستگاه کشش و فشار (STM، STM-20، ایران) انجام شد. شاخص ارزیابی بافت حداکثر استرس ایجاد شده در اثر نفوذ پروب به درون بافت بود. (استرس= نیرو تقسیم بر سطح مقطع پروب).

مدل‌سازی انتقال جرم و تعیین ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده

جهت توصیف انتقال جرم (خروج قندهای احیاء) طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی از توسعه یک مدل سه بعدی در نرم‌افزار MATLAB (Version 7.14 R2012a) بر اساس حل قانون دوم فیک به روش تفاضل محدود استفاده شد. فرضیات مدل مذکور عبارتند از:

الف) شکل هندسی خلال سیب‌زمینی به‌صورت یک مکعب نیمه محدود می‌باشد (شکل 1).



شکل 1- هندسه خلال سیب‌زمینی به‌صورت یک مکعب نیمه محدود (Gokmen *et al.*, 2008).

ب) غلظت قند احیاء در سرتاسر خلال سیب‌زمینی قبل از ورود آن به داخل آب داغ یکنواخت و برابر با مقدار ثابتی است.

ج) انتقال جرم در داخل خلال سیب‌زمینی به‌صورت سه بعدی انجام می‌شود.

د) تغییر حجم طی فرایند وجود ندارد.

ه) ضریب انتقال جرم در سطح ثابت و یکنواخت در نظر گرفته شده است.

برای توسعه مدل در حالت سه‌بعدی فرض شده است که به محض قرار گرفتن خلال سیب‌زمینی در آب داغ، تبادل جرم در سطح خلال رخ می‌دهد که شدت آن با توجه به ثابت بودن غلظت اجزاء در آب آنزیم‌بری عمدتا توسط ضریب تبادل جرم قند احیاء (k_{RS}) کنترل می‌گردد. سپس به تبع تبادل جرم در سطح، نفوذ غیرپایدار قند احیاء طی آنزیم‌بری در داخل خلال رخ می‌دهد و قند احیاء از داخل خلال به طرف سطح آن نفوذ می‌کند. سیستم معادلات مورد استفاده برای توصیف انتقال‌جرم عبارت است از (Welti-changes *et al.*, 2003):

الف) معادله اصلی (قانون دوم فیک):

$$\frac{\partial C_{RS}}{\partial t} = D_{RS}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial C_{RS}}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial C_{RS}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial C_{RS}}{\partial z}\right)\right] \quad ,t>0 \quad ,0<x,y,z<L \qquad (2)$$

ب) شرایط مرزی در مرکز خلال:

$$\frac{\partial C_{RS}}{\partial x}=0 \;,\; \frac{\partial C_{RS}}{\partial y}=0 \;,\; \frac{\partial C_{RS}}{\partial z}=0 \qquad ,t>0 \qquad ,x=y=z=0 \qquad (3)$$

ج) شرایط مرزی در سطح خلال:

$$-D_{RS}\frac{\partial C_{RS}}{\partial i}=k_{RS}\left(C_{RS,P}-C_{RS,W}\right) \quad ,i=x,y,z \quad ,t>0 \quad ,x,y,z=L \qquad (4)$$

د) شرایط اولیه:

$$C_{RS}=C_{RS_0} \qquad ,t=0 \qquad ,0\le x,y,z\le L \qquad (5)$$

در معادلات 2 تا 5، t عبارت است از زمان آنزیم‌بری و L نشان‌دهنده نصف بعدهای طول (z)، عرض (x) و ضخامت خلال (y) است و C_{RS}، D_{RS}، k_{RS} و $C_{RS,\,W}$ به‌ترتیب عبارتند از: غلظت قند احیاء باقیمانده در خلال (گرم در100 گرم ماده خشک)، ضریب نفوذ مؤثر قند احیاء (m^2/s)، ضریب انتقال جرم قند احیاء در سطح ($1/77\times10^{-5}$ m/s) (Califano *et al.*, 1983) و غلظت قند احیاء در آب آنزیم‌بری (گرم در100گرم).

استخراج ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء کننده با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به خروج و تولید آن‌ها طی آنزیم‌بری و به روش معکوس (Gekas *et al.*, 2000) به ازای بهترین همپوشانی نتایج مدل با داده‌های آزمایشگاهی قند احیاء باقیمانده در خلال برای هر یک از دماهای آنزیم‌بری انجام گرفت. جهت وارد کردن اثر تولید قندهای احیاء در مدل مذکور، بجای غلظت قند احیاء باقیمانده در خلال از غلظت قند احیاء خالص باقیمانده در خلال (تفاضل غلظت قند احیاء تولید شده در خلال از غلظت قند احیاء باقیمانده در خلال) استفاده شد. جهت توصیف وابستگی دمایی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء از معادله آرنیوس استفاده گردید. (Pedreschi *et al.*, 2009):

$$D_{eff} = D_0 \exp(-E_a/RT) \qquad (6)$$

در معادله 6 عبارات D_{eff}، D_0، E_a، R و T به‌ترتیب نشان‌دهنده ضریب نفوذ مؤثر قند احیاء در دمای T، ثابت آرنیوس (1/s)، انرژی فعال‌سازی (kJ/mol)، ثابت جهانی گازها (8/314 J/mol.^{o}K) و دمای مطلق آنزیم‌بری (^{o}K) می‌باشد.

اعتبارسنجی مدل بر مبنای مقایسه داده‌های آزمایشی و داده‌های مدل با استفاده از فاکتور ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE%) انجام شد (Pedreschi *et al.*, 2009):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{y_{exp}-y_{cal}}{y_{exp}}\right)^2} \qquad (7)$$

عبارات y_{exp}، y_{cal} و N در معادله 7 به‌ترتیب نشان‌دهنده مقادیر آزمایشی، مقادیر پیش‌بینی شده و تعداد داده‌ها هستند.

مدل‌سازی سینتیکی تغییرات بافت طی آنزیم‌بری

جهت توصیف تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی از سینتیک درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول (معادله 8) استفاده شد و وابستگی دمایی ثابت سرعت با استفاده از معادله آرنیوس (معادله 9) بررسی گردید (Toledo, 2007).

$$\text{MS (Maximum Stress)} = \frac{MS_e}{1-\exp(-kt-B)} \qquad (8)$$

عبارات MS، MS_e، k، B و t در معادله 8 به‌ترتیب عبارتند از: حداکثر استرس در زمان t (N/mm^2)، حداکثر استرس پس از 120

دقیقه آنزیم‌بری در دمای مربوطه، ثابت سرعت (1/s)، فاکتور بدون بعد و زمان آنزیم‌بری می‌باشند (بر اساس داده‌های آزمایشی، مقدار MS_e در دماهای 50، 60، 70، 80 و 90°C به‌ترتیب برابر با 0/3567، 0/2812، 0/1824، 0/0922 و 0/0305 N/mm² بود).

$$k = k_0 \exp(-E_a/RT) \qquad (9)$$

عبارات k، k_0، E_a، R و T در معادله 9 به‌ترتیب نشان‌دهنده ثابت سرعت در دمای T (1/s)، ثابت آرنیوس، انرژی فعال‌سازی (kJ/mol)، ثابت جهانی گازها (8/314 J/mol.°K) و دمای مطلق آنزیم‌بری (°K) می‌باشند. اعتبارسنجی مدل پیشنهادی تغییرات بافت نیز (معادله 8) با استفاده از فاکتور ریشه میانگین مربعات خطا (معادله 7) صورت گرفت.

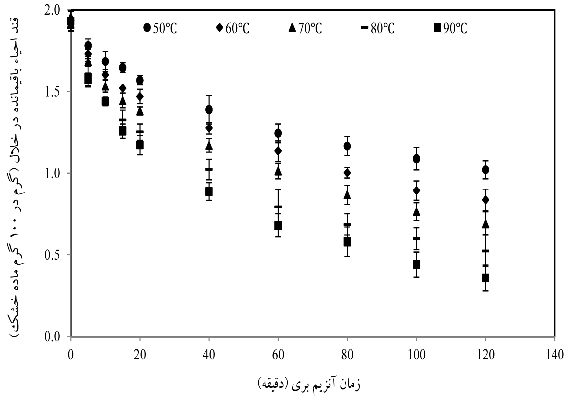
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمایشات به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شدند. تحلیل آماری اثر دما بر ضرایب نفوذ و ثابت‌های سرعت بر اساس طرح کاملا تصادفی صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Statistical Analysis System, Version 9.1.3, Cary, NC, USA, 2005) و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. آزمون مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) و آزمون اثر متقابل تیمارها به روش LS means در سطح اطمینان 95% (P<0/05) انجام گرفت.

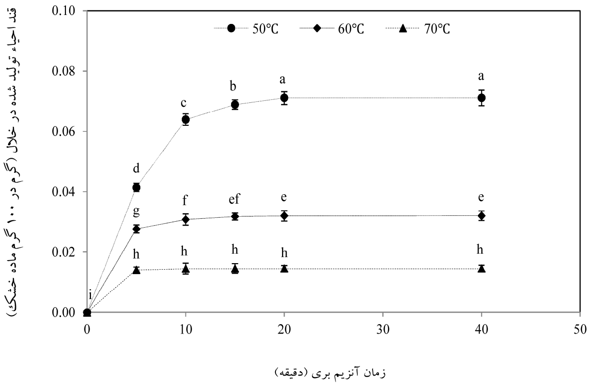
نتایج و بحث

ضریب نفوذمؤثر قندهای احیاءکننده

سینتیک خروج و تولید قندهای احیاء کننده طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در محدوده دمایی 50– 90C° بترتیب در شکل‌های 2 و 3 نشان داده شده است.



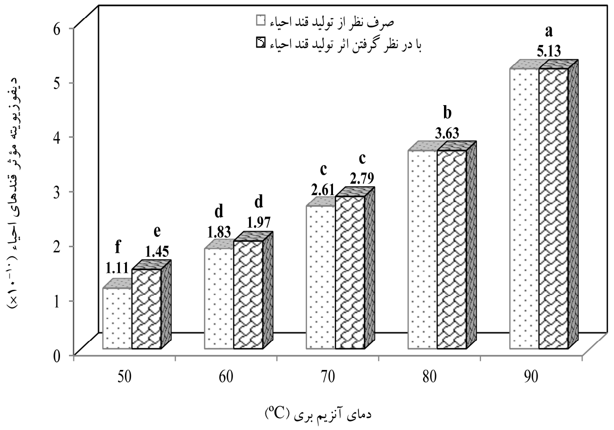
شکل2- سینتیک خروج قندهای احیاء طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف.



شکل 3- سینتیک تولید قندهای احیاء طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (P<0/05) است).

با توجه به شکل 2، افزایش دما و زمان آنزیم‌بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب افزایش خروج قندهای احیاء از بافت خلال سیب‌زمینی می‌شود. سرعت خروج قندهای احیاء در ابتدای فرایند بیشتر است و به تدریج با افزایش زمان آنزیم‌بری کاهش می‌یابد. گزارش شده است که با افزایش دمای آنزیم‌بری سرعت استخراج قندهای احیاء از بافت ورقه‌های سیب‌زمینی افزایش می‌یابد و قسمت عمده قندهای احیاء طی 20 ثانیه اول فرایند از بافت ورقه‌های سیب‌زمینی وارد آب آنزیم‌بری می‌شوند و با ادامه فرایند به علت ژلاتیناسیون نشاسته سطحی سرعت خروج قندهای احیاء کاهش می‌یابد (Pedreschi *et al*., 2009). تولید قندهای احیاء (شکل 3) با افزایش زمان آنزیم‌بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) ابتدا افزایش می‌یابد و سپس ثابت می‌گردد. در دماهای بالاتر، مدت زمان و میزان تولید قندهای احیاء کاهش می‌یابد (P<0/05) به‌طوری که در دماهای 80 و 90°C هیچ گونه تولید قند احیاء مشاهده نشد.

گزارش شده است که طی آنزیم‌بری سیب‌زمینی در دماهای پایین‌تر از 75 C° (احتمالا در اثر هیدرولیز آنزیمی نشاسته) و در دماهای بالاتر (به علت تخریب کامل آنزیم اینورتاز)، به‌ترتیب تولید قندهای احیاء و ژلاتیناسیون نشاسته مکانیسم‌های غالب هستند (Califano *et al*., 1983). ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده با و بدون در نظر گرفتن اثر تولید آن‌ها در شکل 4 نشان داده شده است. با توجه به شکل 4 افزایش دمای آنزیم‌بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء می‌شود.



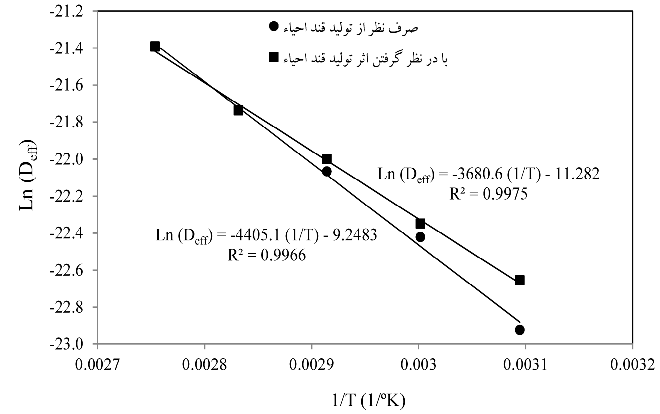
شکل 4- ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء با و بدون در نظر گرفتن اثر تولید آن‌ها در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (P<0/05) است).

در نظر گرفتن اثر تولید قندهای احیاء نیز سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر آن‌ها (به‌ترتیب 30/63، 7/65 و 6/89 % در دماهای 50، 60 و 70 °C) شده است که این افزایش با توجه به میزان بالای تولید قند (3/54%) در دمای 50 °C معنی‌دار (P<0/05) است. مقادیر بدست آمده برای ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء در این مطالعه بیشتر از مقادیر گزارش شده ($1/2-1/7×10^{-11}$) برای آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در محدوده دمایی 70– 100 °C (Kaymak *et al*., 1994) است و در محدوده مقادیر گزارش شده ($2/9-5/5×10^{-10}$) برای آنزیم‌بری ورقه سیب‌زمینی در محدوده دمایی 90 -60 °C قرار دارد (Pedreschi *et al*., 2009). وابستگی دمایی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء مطابق با معادله آرنیوس، در شکل 5 نشان داده شده است.

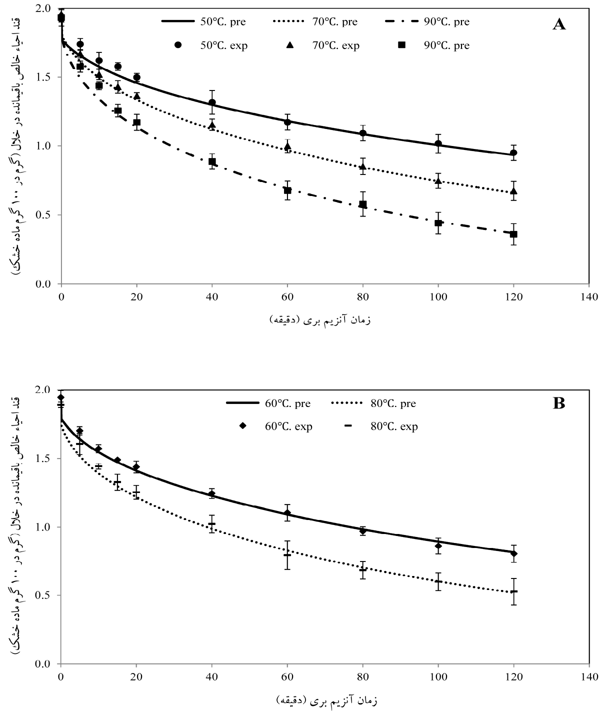
بر اساس شکل 5، انرژی فعال¬سازی فرایند در دو حالت صرف نظر از تولید قند احیاء و در نظر گرفتن اثر تولید قند احیاء محاسبه گردید (به‌ترتیب 36/62 و 59/30 kJ/mol). نتایج نشان داد که در نظر گرفتن اثر تولید قند احیاء سبب کاهش (19/71%) معنی¬دار (P<0/05) انرژی فعال¬سازی می¬گردد. انرژی فعال‌سازی معرف خوبی از مکانیسم غالب در فرایندهای نفوذ می¬باشد و محدوده آن برای نفوذ آبی در مواد غذایی نشاسته¬ای 17-kJ/mol 43 ذکر شده است (Saravacos *et al*., 2001). میزان انرژی مذکور برای نفوذ قندهای احیاء طی آنزیم‌بری (بدون در نظر گرفتن اثر تولید قند احیاء) خلال سیب‌زمینی در محدوده¬های دمایی 70-°C 100 (Kaymak *et al*., 1994) و 60-°C 70 (Califano *et al*., 1983) و برای ورقه¬های سیب‌زمینی در محدوده دمایی 60-°C 90 (Pedreschi *et al*., 2009) به‌ترتیب برابر با 14/3، 41/8 و 4/3 kJ/mol گزارش شده است که به‌ترتیب کمتر، بیشتر و کمتر از مقدار به‌دست آمده در مطالعه حاضر (62/36 kJ/mol) می¬باشند. علت وابستگی دمایی ضعیف (انرژی فعال¬سازی پایین) ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء در دماهای بالا (70-°C 100) طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی، در ارتباط با ژلاتینه شدن نشاسته ذکر شده است (Kaymak *et al*.,

1994).

نتایج حاصل از مدل عددی توسعه داده شده در شکل 6 نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور، مدل پیشنهادی با انطباق خوبی داده‌های آزمایشگاهی را پیش‌بینی نموده است. در اعتبارسنجی مدل عددی، مقادیر فاکتور ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE%) در محدوده دمایی 50-90ºC، 2/01- 3/49 بدست آمد که کمتر از مقادیر گزارش شده (9/98- 6/86) برای مدل یک بعدی در محدوده دمایی 60-90 ºC (Pedreschi *et al.*, 2009) است و نشان دهنده انطباق بالاتر مدل سه بعدی پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی است.



شکل 5- وابستگی دمایی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء بر اساس معادله آرنیوس.



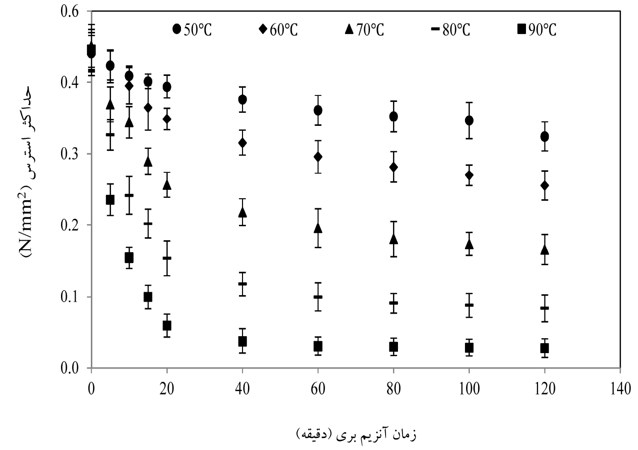
شکل 6- مقادیر قند احیاء آزمایشگاهی (exp) و پیش‌بینی شده مدل (pre) طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای 50، 70، 90 (A) و 60، 80ºC (B).

سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری

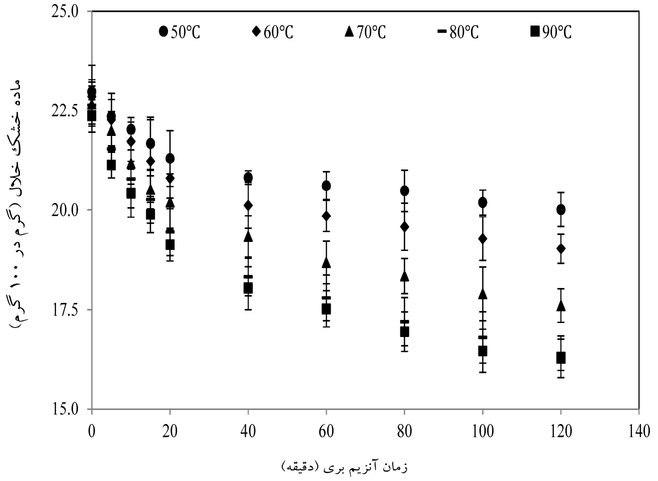
سینتیک تغییرات بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در دماهای مختلف در شکل 7 نشان داده شده است.

با افزایش دما و زمان آنزیم‌بری (شکل 7)، با توجه به کاهش

معنی‌دار (P<0/05) ماده خشک خلال (شکل 8)، سفتی بافت به‌طور معنی‌دار (P<0/05) کاهش می‌یابد و کاهش سفتی در ابتدای فرایند دارای سرعت زیادی است که با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در دماهای پایین (خصوصا 50 ºC) سفتی بافت نسبتا حفظ شده و روند کاهش سفتی با سرعت کمتری نسبت به دماهای بالاتر صورت گرفته است.



شکل 7- سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف.

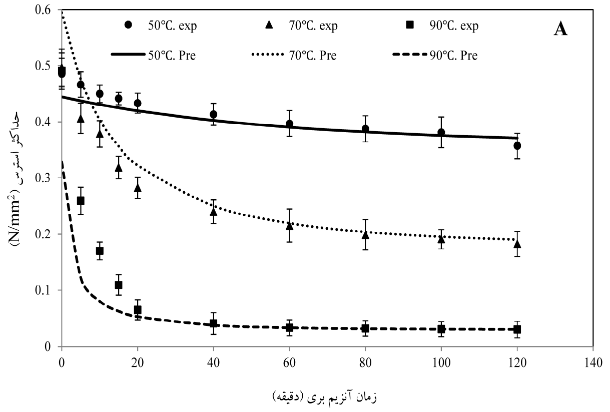


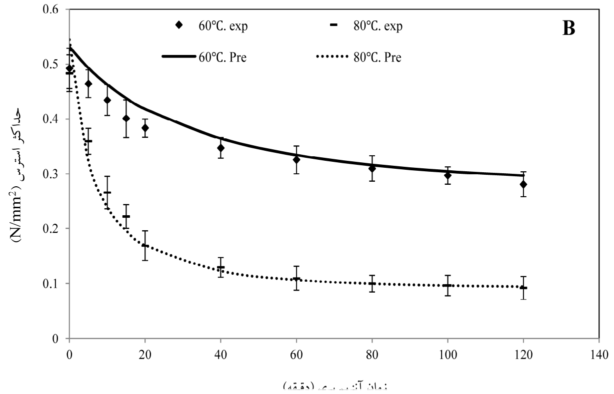
شکل 8- تغییرات ماده خشک طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف.

مطابق با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، گزارش شده است که آنزیم‌بری در محدوده دمایی 100ºC-50 به علت تجزیه پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و ژلاتیناسیون نشاسته سبب کاهش سفتی بافت قطعات مکعبی سیب‌زمینی می‌گردد (Moyano *et al.*, 2007). همچنین در تضاد با نتایج مذکور، گزارش شده است که در محدوده دمایی 70ºC-50 فعالیت آنزیم پکتین‌متیل‌استراز رو به افزایش می‌گذارد و سبب استرزدایی پکتین موجود در دیواره سلولی می‌گردد. پکتین استر زدایی شده با یون‌های دو ظرفیتی کلسیم موجود در بافت سیب زمینی واکنش داده و با تشکیل پکتات کلسیم سبب افزایش سفتی بافت می گردد (Bartolome *et al.*, 1972; Stanly *et al.*, 1995). مدل سینتیک درجه اول با اثر محدود کنندگی محصول قابلیت انطباق بالایی (RMSE% برابر با 29/79-4/24 در محدوده دمایی 90ºC-50) با داده‌های آزمایشگاهی تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی نشان داد (شکل 9).

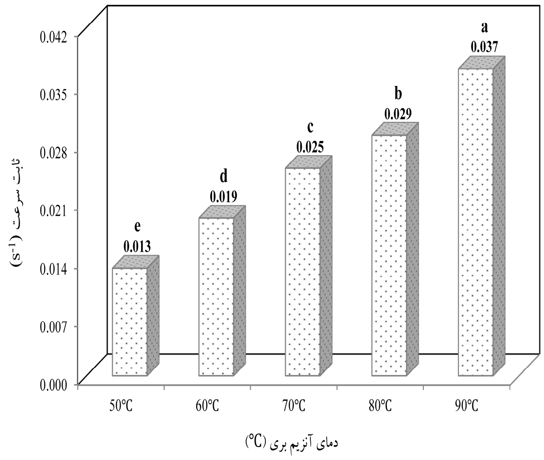
با توجه به شکل 10، افزایش دمای آنزیم بری به‌طور معنی¬دار (P<0/05) سبب افزایش ثابت سرعت فرایند کاهش سفتی بافت خلال سیب زمینی می¬گردد. انرژی فعال¬سازی فرایند مذکور با به‌کارگیری معادله آرنیوس (شکل 11) در مورد ثابت¬های سرعت در محدوده دمایی 50-90 ºC، 64/24 kJ/mol محاسبه گردید که بیشتر از مقدار گزارش شده (55/18 kJ/mol) بر اساس سینتیک درجه اول

برای آنزیم‌بـری قطعـات مکعبـی سـیب‌زمینـی در محـدوده دمـایی (°C100-50 (Nisha et al., 2006 است.

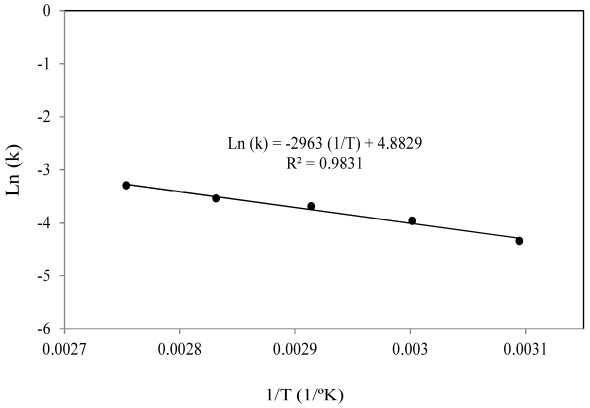




شکل 9- تغییرات بافت آزمایشگاهی (exp) و پیش بینی شده مدل (pre) طی آنزیم بری خلال سیب زمینی در دماهای 50، 70، 90 (A) و 60، 80°C (B).



شکل 10- ثابت سرعت فرایند کاهش سفتی بافت خلال سیب زمینی طی آنزیم بری در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار (P<0/05) است).



شکل 11- وابستگی دمایی ثابت سرعت فرایند کاهش سفتی بافت بر اساس معادله آرنیوس.

کمتر بودن مقادیر فاکتور RMSE% بدست آمده در این مطالعه نسبت به مقادیر گزارش شده (44- 6/2) برای توصیف تغییرات بافت قطعات مکعبی سیب زمینی طی آنزیم بری با استفاده از سینتیک درجه اول (Nisha *et al*., 2006)، حاکی از انطباق بالاتر سینتیک درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول با نتایج آزمایشگاهی است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده و سینتیک تغییرات بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در آب داغ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که:

1) طی آنزیم‌بری، در کنار نفوذ قندهای احیاء به داخل آب آنزیم‌بری تولید آن‌ها نیز در داخل بافت صورت می‌گیرد.

2) افزایش دمای آنزیم‌بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء می‌گردد.

3) در نظر گرفتن اثر تولید قندهای احیاء به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر آن‌ها و کاهش انرژی فعال‌سازی فرایند می‌گردد، بنابراین هنگام بررسی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء بایستی هر دو مکانیسم خروج و تولید آن‌ها در نظر گرفته شود.

4) مدل سه بعدی توسعه داده شده قابلیت انطباق بالایی با نتایج آزمایشگاهی قندهای احیاء نشان داد.

5) افزایش دما و زمان آنزیم بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب کاهش ماده خشک و سفتی بافت می‌گردد.

6) برای توصیف تغییرات بافت طی آنزیم بری خلال سیب‌زمینی می‌توان از مدل سینتیکی درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول استفاده نمود.

منابع

Aguilar, C., A, Anzaldua., R, Talamas., and G, Gastelom. 1997. Low- temperature blanch improves textural quality of French fries. *Journal of Food Science*. 62 (3): 568-571.

Anderson, A., V, Gekas., and I, Lind. 1994. Effect of preheating on potato texture. *Journal of Food Science and Nutrition*. 34: 229–251.

Anzaldua-Morales, A., A, Quintero., and R, Baladran. 1996. Kinetics of thermal softening of six legumes during cooking. *Journal of Food Science*. 61 (1): 167-170.

AOAC. 1984. Association Official Analytical Chemists. The official methods of analysis. Method 28.074. *Arlington*. VA: AOAC.

Bartolome, L.G., and G.E, Hoff. 1972. Firming of potatoes: biochemical effect of preheating. *Agricaltural and Food Chemistry*. 20: 266-270.

Bingol, G., B, Wang., A, Zang., Z, Pan., and T.H.M, Hugh. 2014. Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of French fries. *Journal of Food Engineering*. 121: 135-142.

Califano, A.N., and A, Calvelo. 1983. Heat and mass transfer during the warm water blanching of potatoes. *Journal of Food Science*. 48: 220-225.

Canet, W., M.D, Alvarez., and C, Fernandez. 2005. Optimization of low-temperature blanching for retention of potato firmness: effect of previous storage time on compression properties. *European Food Research and Technology*. 221:

423–433.
Garrote, R.L., R.A, Bertone., and E.R, Silva. 1984. Effect of soaking-blanching conditions on glucose losses in potato slices. *Journal of Canadian Instifute of Food Science and Technology*. 17: 111-113.
Gekas, V., A, Danae Doulia., and K, Tzia. 2000. Aknowledge base for the apparent mass diffusion coefficient (DEFE) of foods. *International Journal of Food Properties*. 3: 1-14.
Gokmen, V., and T.K, Palazoglu. 2008. Acrylamide Formation in Foods during Thermal Processing with a Focus on Frying. *Food Bioprocess Technology*. 1: 35–42.
Goncalves, E.M., J, Pinheiro., M, Abreu., T.R.S, Brandao., and C.L.M, Silva. 2010. Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*. 97: 574-581.
Kaymak, F., and N, Suzan Kincal. 1994. Apparent diffusivities of reducing sugars in potato strips blanched in water. *International Journal of Food Science and technology*. 29: 63-70.
Miller, G. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing Sugar. *Analitical Chemistry*. 31: 426–428.
Mottram, D.S., and B.L, Wedzicha. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. Nature. 419: 448–449.
Moyano, P., E, Troncoso., and F, Pedreschi. 2007. Modeling texture kinetics during thermal processing of potato products. *Journal of Food Science*. 72: 102–107.
Moyano, P.C., E, Troncoso., and F, Pedreschi. 2007. Texture Kinetics during Thermal Processing of Potato Products. *Journal of Food science*. 72: 102-107.
Nisha, P., R.S, Singhal., and A.B, Pandit. 2006. Kinetic modeling of texture development in potato cubes (*Solanum tuberosum*), green gram whole (*Vigna radiate* L.). Journal of Food Engineering. 76: 524–530.
Pedreschi, F., K, Kaack., and K, Granby. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. Lebensmittel-*Wissenschaft and Technology*. 37: 679–685.
Pedreschi, F., X, Travisany., C.R.E, Troncoso., and R, Pedreschi. 2009. Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. *Journal of Food Engineering*. 91: 443–447.
Rahardjo, B., and S.K, Sastry. 1993. Kinetics of softening of foods. *Journal of Food Processing and Preservation*. 10: 311–329.
Richter Reis, F., M, Masson., and N, Waszezynskyj. 2007. Influence of blanching pretreatment on color oil uptake and water activity of potato sticks and its optimization. *Journal of Food Process Engineering*. 31: 833-852.
Sanny, M., S, Jinap., E.J, Bakker., M.A.J.S, Van Boekel., and P.A, Luning. 2012. Is lowering reducing sugars concentration in French fries an effective measure to reduce acrylamide concentration in food service establishments?. *Journal of Food Chemistry*. 135: 2012-2020.
Saravacos, G.D., and Z.B, Maroulis. 2001. Transport Properties of Foods. *Drying Technology*. New York. 19 (9): 2383-2384.
Stadler, R.H., I, Blank., N, Varga., F, Robert., J, Hau., A, Guy., P, Robert., and M.C, Riediker. 2002. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*. 419: 449–450.
Stanly, D.W., M.C, Bourne., and A.P, Stone. 1995. Low temperature blanching effects on chemistry, firmness and structure of canned green beans and carrots. *Journal of Food Science*. 6: 327-333.
Stoneham, T.R., D.B, Lund., and C.H, Tong. 2000. The Use of Fractional Conversion Technique to Investigate the Effects of Testing Parameters on Texture Degradation Kinetics. *Journal of Food Engineering and Physical Properties*. 65 (6): 968-973.
Toledo, R.T. 2007. *Fundamental of Food Process Engineering*. 3rd de. Springer. (Athens). 8: 285-295.
Van Loon, W.A.M., J.P.H, Linssen., A, Legger., M.A, Posthumus., and A.G.J, Voragen. 2005. Identification and olfactometry of French fries flavour extracted at mouth conditions. *Journal of Food Chemistry*. 90: 417–425.
Verlinden, B., D, Yuksel., M, Baheri., J, De Baerdemaeker., and C, Van Dijik. 2000. Low temperature blanching effect on the changes in mechanical properties during subsequent cooking of three potato cultivars. International Journal of *Food Science and Technology*. 35: 331–333.
Welti-changes, J., F, Valez Ruiz., and G.V, Boarbosa-Canovas. 2003. Transport phenomena in Food processing. CRC press LLC. (*Florida*). 1: 18-38.
Zhiqiang Liu, E., and M, Scanlon. 2007. Modeling the Effect of Blanching Conditions on the Texture of Potato Strips. *Journal of Food Engineering*. 81: 292-297.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 691-703

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 703-691

Reducing sugars effective diffusivity and kinetic of texture changes during blanching of potato strips in hot water

H. Beyki[1], N. Hamdami*[2], J. Pourtaghi[3]

Received: 2016.02.03
Accepted: 2016.04.23

Introduction: Heat treatment of potato tissue involves chemical, physical and structural changes. The magnitude of these changes will depend on the extent of thermal processing in terms of time and temperature. Blanching is a heating process that used to inactivate enzymes, de-aeration and modification of texture, preserving color, flavor and nutritional value of fruits and vegetables prior to freezing, canning, drying and frying. Temperature and time of blanching is largely determined by the amount of reducing sugars and textural characteristics of the species. In the previous studies performed on the changes of reducing sugars content in potatoes during blanching, some researchers found evidence that besides the mass transfer to the bath there exists an internal generation of reducing sugars, probably due to an enzymatic hydrolysis of starch. Therefore when predicting the concentration of reducing sugars changes, both mechanisms should be considered. Considering that no study has been done on the effect of internal generation of reducing sugars on their effective diffusivity during blanching and so far there is no comprehensive study on the kinetic of texture changes during blanching of potato at different temperatures and also direct relationship of reducing sugars with Maillard reaction and acrylamide formation in potato, therefore the aims of this study are: 1) determination of effective diffusivity of reducing sugars with and without consideration of them generation and 2) investigation of kinetic of texture changes during blanching of potato strips at the temperature range of 50-90 ºC and modeling of these phenomena.

Materials and methods: Potatoes (variety Agria, ~23 g/100g (dry basis)) was the raw material used in this study. Potatoes stored in a dark room at 20 ºC for 2 weeks were washed and peeled. Then, were striped into dimensions of 0.8×0.8×8 cm using an electric striping machine (Halldeh, model RG-100). Raw potato strips were rinsed immediately after cutting for 1 min in distilled water to eliminate the starch material adhering to the surface prior to blanching. Then, blanching was accomplished by immersing the potato strips in hot distilled water (ratio of mass of potato to water of 1:20) at 50, 60, 70, 80 and 90 ºC. To investigate the kinetic of generation of reducing sugars, strips packaged in duplex in the polyethylene (HDPE with 10 micron thickness) film were immersed in hot distilled water to blanching at the temperatures. Samples were withdrawn after 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 minutes to measure the reducing sugars content and texture firmness. All experiments were done in triplicate. Maximum stress caused by penetrating of the probe (diameter of 2 mm) into strip texture was the texture evaluation index. To describe the mass transfer (extraction of reducing sugar) during blanching, a three dimensional numerical model based on finite difference method of solving Fick's Second Law has been developed in MATLAB software. The first order kinetic with production rate limiting effect was used to describe the potato strips texture changes during blanching. All experiments were done in triplicate as factorial based on completely randomized design. Data analysis and plotting of figures were performed in SAS and Excel software respectively.

Results and Discussion: The results showed that increasing of blanching temperature increase the reducing sugars effective diffusion coefficient significantly ($P<0.05$). Considering the effect of reducing sugars generation was led to increase of them effective diffusion coefficient significantly ($P<0.05$) which maximum increase (30.63%) was observed at 50 ºC. Final effective diffusion coefficient of reducing sugars during blanching of potato strips at temperature between 50 and 90 ºC were within the range of $1.45\text{-}5.13\times10^{-10}$ m^2/s and activation

1. MSc of Food Engineering, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Bachelor of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
(*-Corresponding Author Email: hamdami@cc.iut.ac.ir)

energy for this process was calculated 30.59 kJ/mol. Increasing time and temperature of blanching on the other side was led to decreasing potato strips firmness and dry matter content significantly ($P<0.05$). The numerical model was showed high conformity ($2.01<\%RMSE<3.49$ at the temperature range of 50-90 ºC) with experimental data of reducing sugars extraction. The first order kinetic with production rate limiting effect was predicted the experimental data of decreasing of strips firmness with high conformity ($6.2<\%RMSE<44$ at the temperature range of 50-90 ºC).

Conclusion: in this study the effect of internal generation of reducing sugars on them effective diffusion coefficient and also kinetic of texture changes during blanching of potato strips at the temperature range of 50-90 ºC were investigated. The results showed that increasing of blanching temperature: 1) increase the reducing sugars effective diffusion coefficient significantly ($P<0.05$). 2) Decrease the potato strips firmness and dry matter content significantly ($P<0.05$). Internal generation of reducing sugars during blanching was led to increase of them effective diffusion coefficient. The results also showed that the three dimensional numerical model can be used to describe the kinetic of extraction of reducing sugars during blanching of potato strips. The first order kinetic with production rate limiting effect was showed the best conformity with experimental data of texture changes during blanching of potato strips.

Keywords: Diffusion coefficient, Reducing sugar generation, Texture firmness, Numerical model, Kinetic model.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 704-719

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 719-704

بررسی سینتیک انتقال جرم و مدل‌سازی ریاضی فرایند آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج در محلول‌های شربت گلوکز و نمک

مینا کارگزاری[1*] - مرتضی جمشید عینی[2]

تاریخ دریافت: 1395/03/04
تاریخ پذیرش: 1395/08/01

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی سینتیک انتقال جرم فرایند آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج با در نظر گرفتن شاخص‌های جذب مواد جامد (SG) و از دست دادن رطوبت (WL) انجام گرفت. این ارزیابی در محلول‌های اسمزی متشکل از شربت گلوکز در سه سطح غلظت (30، 40 و 50 درصد وزنی/وزنی) و نمک در سه سطح غلظت (5، 10 و 15 درصد وزنی/وزنی) و سه سطح دمای محلول اسمزی (30، 40 و 50°C) و به مدت 240 دقیقه انجام شد. داده‌های تجربی به دست آمده از انجام آزمایش‌ها با مدل‌های نیمه‌تجربی مختلف شامل مدل‌های Magee، Peleg و Page برازش شدند. پارامترهای آماری ضریب تبیین (R^2)، مربع کای (χ^2) و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) به منظور تعیین مناسب‌ترین مدل مورد استفاده قرار گرفتند. در میان مدل‌های برازش یافته، مدل Peleg به خوبی داده‌های آزمایشی مربوط به SG (R^2=0/81، χ^2 =0/006 و RMSE =0/027)؛ و مدل Page به شکل رضایت‌بخشی داده‌های آزمایشی مربوط به WL را توصیف نمودند (R^2=0/97، χ^2 =0/003 و RMSE =0/005). منحنی‌های مربوط به داده‌های آزمایشی و همچنین منحنی‌های مربوط به داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌های Magee، Peleg و Page، رسم شدند. مشاهده شد که مدل‌های ارائه شده توسط Peleg و Page نسبت به مدل Magee قابلیت بهتری در پیش‌بینی سینتیک‌های فرایند آبگیری اسمزی و مقادیر SG و WL تعادلی داشتند.

واژه‌های کلیدی: آبگیری اسمزی، سینتیک انتقال جرم، مدل‌سازی ریاضی، برازش، هویج.

مقدمه

تولید جهانی محصولات باغی معادل 434/7 میلیون تن میوه و معادل 90 میلیون تن سبزی در سال برآورد شده است (Chavan & Amarowicz, 2012). تنوع این نوع محصولات موجب افزایش میزان تولیدات باغی شده، چنانچه این رقم به 185/2 بیلیون تن در سال 2010 رسیده است اما چالش واقعی پس از تولید آغاز می‌گردد (Yadav & Singh, 2014). از آنجائیکه افت پس از برداشت میوه و سبزی در کشورهای در حال توسعه به‌طور قابل توجهی بالاست، تکنیک‌های متعددی به منظور نگهداری میوه‌جات و سبزیجات به کار برده می‌شود. در این میان فرایند خشک کردن و آبگیری، به دلیل صرفه‌جویی در بسته‌بندی و انبار و غیره بسیار حائز اهمیت است (Chavan & Amarowicz, 2012). در سال‌های اخیر، مواد غذایی با رطوبت میانه[3] (IMF) تولید شده با بکارگیری روش آبگیری اسمزی به دلیل اعمال حداقل فرایند[4] در میان مصرف‌کنندگان رواج بسیاری یافته است. آبگیری اسمزی یک پیش‌تیمار[5] فرایندهای سنتی نظیر خشک کردن و انجماد به‌شمار می‌رود که موجب افزایش کیفیت فراورده‌ی نهایی به دلیل ممانعت از قهوه‌ای شدن اکسیداتیو و افت ترکیبات طعمی فرار و کاهش فروریختگی ساختار[6] طی فرایند بعدی محصولات کشاورزی می‌گردد (Júnior *et al.*, 2013). فرایند آبگیری اسمزی در عین کم هزینه بودن مصرف انرژی پایینی دارد و نیازمند هزینه‌های سرمایه‌گذاری پایینی می‌باشد، همچنین شیوه‌ای برای عرضه سبزیجات ارزان، فسادپذیر و ارزشمند مانند هویج در مناطق دور از نواحی تولید و همچنین در فصول غیر تولیدی را فراهم می‌سازد (Singh, Kumar, & Gupta, 2007). طی آبگیری اسمزی یک انتقال جرم غیرهمسو به دلیل اختلاف فشار اسمزی میان ماده غذایی و محلول اسمزی هایپرتونیک اتفاق می‌افتد: یکی نفوذ آب از

1و 2- به‌ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران‌شمال، تهران، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: mina_kargozari@ut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.56206

3 Intermediate Moisture Food
4 Minimal processing
5 Pretreatment
6 Structure collapse

ماده غذایی به محلول اسمزی و دیگری نفوذ مواد حل‌شونده از محلول اسمزی به ماده غذایی. همچنین به دلیل نیمه‌تراوا بودن غشای سلولی، جریان سومی مربوط به مواد با وزن مولکولی کم مانند اسیدهای آلی، ساکاریدها، ویتامین‌ها و نمک‌های معدنی از ماده غذایی به محلول هایپرتونیک روی می‌دهد. این جریان از لحاظ کمی چندان قابل ملاحظه نیست (Ahmed, Qazi, & Jamal, 2016; Sutar & Gupta, 2007). حذف رطوبت عمدتاً در اثر جریان موئین[1] و پدیده نفوذ[2] انجام می‌شود در حالیکه جذب مواد حل شده در محلول اسمزی توسط ماده غذایی تنها در اثر نفوذ روی می‌دهد. تمامی تبادلات جرمی انجام شده میان ماده غذایی و محلول هایپرتونیک می‌تواند بر کیفیت کلی و بازده فراورده آبگیری‌شده تأثیرگذار باشد (Ahmed *et al.*, 2016).

در تکنولوژی مواد غذایی، در ساده‌ترین سطح، معادلاتی حاکم هستند که رابطه میان دو یا چند متغیر را مشخص می‌سازند. شبیه‌سازی مبتنی بر مدل در واحدهای فرایند و نگهداری مواد غذایی توجه بسیاری را در چهار دهه اخیر به خود جلب کرده است. مدل‌سازی یقیناً می‌تواند در صنعت غذا تفاوت ایجاد کند و منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری گردد (Datta, 2008) و مدیریت و تصمیم‌گیری کارامدتری را به ارمغان آورد، اما در دسترس نبودن دانش و عدم قطعیت اندازه‌گیری‌های انجام شده، میزان بی‌نقص بودن[3] مدل‌ها و شبیه‌سازی‌ها را محدود کرده و عدم اطمینان[4] از پیشگویی‌ها را افزایش می‌دهد (Ivester, 2008). معادلات ریاضی توصیف‌کننده انتقال جرم طی آبگیری اسمزی، درک بهتر ترکیب ماده آبگیری شده و پارامترهای عملیاتی را میسر می‌سازند. در همین راستا مدل‌های نظری و تجربی بسیاری در منابع گزارش شده‌اند که مدل‌های تجربی به دلیل کاربرد راحت‌تر از محبوبیت بیشتری برخوردارند (Pavelkić *et al.*, 2015). در برخی از مدل‌سازی‌های تجربی رابطه بین متغیرها از یک تئوری به‌دست می‌آید ولی پارامترهای مدل با انجام آزمایش‌ها به‌دست می‌آیند. این نوع مدل‌سازی، نیمه‌تجربی[5] می‌باشد (Datta & Halder, 2008). مدل‌های نیمه‌تجربی متعددی همانند مدل Magee و همکاران (1983)، Azuara و همکاران، (1992) Palou و همکاران (1994) و Ferrari و همکاران (2011) به‌منظور توصیف انتقال جرم طی آبگیری اسمزی فراورده‌های غذایی گزارش شده‌اند (Júnior *et al.*, 2013). Ganjloo و همکاران (2012) سینتیک آبگیری اسمزی گواوای بی‌دانه را با بررسی شاخص‌های جذب مواد جامد[6] (SG) و افت رطوبت[7] (WL) تحت تأثیر غلظت ساکارز و دمای متغیر در بازه زمانی 240 دقیقه مورد بررسی قرار دادند. داده‌های آزمایشی با مدل‌های سینتیک نیمه‌تجربی برازش یافت. نتایج حاکی از آن بود که مدل تجربی Peleg به‌طور رضایت بخشی سینتیک آبگیری اسمزی گواوا را توصیف نمود (Ganjloo, Rahman, Bakar, Osman, & Bimakr, 2012). در مطالعه انجام شده توسط Souraki و همکاران (2012) فرایند انتقال جرم طی آبگیری اسمزی برش‌های استوانه‌ای لوبیا سبز در محلول نمک به‌عنوان تابعی از غلظت نمک در محلول اسمزی و دمای فرایند بررسی شد. یک مدل ریاضی دو پارامتری بسط یافته توسط Azuara و همکاران (1992) به منظور توصیف انتقال جرم و تخمین مقادیر تعادلی SG و WL به‌کار برده شد (Souraki, Ghaffari, & Bayat, 2012).

به دلیل فقدان داده‌های تجربی در زمینه آبگیری اسمزی هویج، هدف ما دستیابی به اطلاعات کاربردی بیشتر در طراحی و کنترل فرایند آبگیری اسمزی این سبزی بوده است. هدف از انجام این مطالعه بررسی سینتیک انتقال جرم به شکل SG و WL به عنوان تابعی از غلظت محلول‌های اسمزی، دما و زمان غوطه‌وری طی تیمار اسمزی هویج می‌باشد. همچنین ارزیابی امکان بکارگیری معادلات Magee، Peleg و Page به منظور مدل‌سازی داده‌های تجربی به دست آمده در شرایط مختلف فرایند آبگیری اسمزی و انتخاب بهترین مدل توصیف‌کننده سینتیک انتقال جرم از اهداف این پژوهش است.

تئوری

معادله Magee که در مطالعات پیشین به‌منظور توصیف سینتیک انتقال جرم در فرایند آبگیری اسمزی به‌کار رفته است (Hathan, 2015)، عبارت است از:

$$\overline{MC(t)} = A \pm k\sqrt{t} \qquad (1)$$

در این معادله $\overline{MC(t)}$ میزان جذب مواد جامد یا افت رطوبت در زمان t، A و K پارامترهای مدل Magee و t نشان‌دهنده زمان می‌باشد (معادلهٔ 1) (Moreira & Sereno, 2003).

پارامترهای معادله دوپارامتری غیرلگاریتمی Peleg با استفاده از معادله زیر به‌دست می‌آید. این مدل قادر به توصیف اکثر منحنی‌های به دست آمده که به‌طور تقریبی به تعادل می‌رسند، می‌باشد:

$$\overline{MC(t)} = MC_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t} \qquad (2)$$

در این معادله $\overline{MC(t)}$ میزان جذب مواد جامد یا افت رطوبت در زمان t، MC_0 میزان جذب مواد جامد یا افت رطوبت اولیه، K_1 ثابت

1 Capillary flow
2 Diffusion
3 Sophistication
4 Uncertainty
5 Semi-empirical modeling

6 Solid gain
7 Water loss

سرعت Peleg[1]و K_2 ثابت ظرفیت Peleg[2]و t نشان‌دهنده زمان می‌باشد (Júnior *et al.*, 2013). در معادله Peleg علامت "±" در محاسبه‌ی افت رطوبت "-" و در مورد جذب مواد جامد "+" می‌شود (معادلهٔ 2) (Pavelkić *et al.*, 2015).

یکی از مفیدترین مدل‌های نیمه تجربی معادله Page می‌باشد:

$$W_{A\ or\ S} = \frac{MC(t)-MC_{eq}}{MC_0-MC_{eq}} = \exp(-Kt^n) \quad (3)$$

در این معادله W_A مقدار بدون بُعد افت رطوبت؛ W_S مقدار بدون بُعد جذب مواد جامد؛ MC_{eq} مقادیر تعادلی افت رطوبت و جذب مواد جامد می‌باشند. K و n پارامترهای Page و t نشان‌دهنده زمان می‌باشد (معادلهٔ 3) (Park, Bin, Brod, & Park, 2002).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، هویج استفاده شده رقم محلی بوده و به‌منظور همگن شدن نمونه‌ها از یک سبزی فروشی و به‌صورت روزانه (به منظور جلوگیری از بروز خطای ناشی از رسیدن و از دست دادن رطوبت) تهیه شد. هویج مصرفی تا هنگام استفاده در دمای 4-5°C در یخچال نگهداری شد. از یک خلال‌کن دستی برای برش هویج به قطعات مکعبی شکل 1×1×1سانتی‌متر استفاده شد. مکعب‌ها شسته شدند تا خرده‌های هویج چسبیده به سطح آنها حذف شود و سپس آب آنها با دستمال خشک‌کن گرفته شد. محتوای رطوبت اولیه هویج بین 86 تا 90 درصد (وزن مرطوب) متغیر بود.

فرایند اسمز

با توجه به تأثیر بیشتر محلول‌های چند جزئی نسبت به محلول های تک جزئی، محلول دو گانه نمک و شربت گلوکز (DE=40/9، brix=82، گلوکزان قزوین) به‌عنوان محلول اسمزی انتخاب گردید. میزان شربت گلوکز در محلول اسمزی 30، 40 و50 (وزنی/ وزنی) و میزان نمک طعام 5، 10 و 15 (وزنی/ وزنی) بود. آزمایش‌ها در سه سطح دمایی 30، 40 و 50°C انجام شدند. بنابراین در مجموع 27 تیمار آزمایشی انجام شد. نمونه‌ها با رعایت نسبت محلول به نمونه معادل 10 به 1 به بشر حاوی محلول اسمزی اضافه شد و برای جلوگیری از تبخیر آب، دهانه بشر با یک پوشش پلاستیکی بسته شد. دمای فرایند آبگیری اسمزی توسط دستگاه بنماری (Windaus-Lauda مدل E299، آلمان) کنترل شد. عمل آنزیم‌بری پیش از فرآیند اسمز انجام نشد زیرا این عمل به علت از دست رفتن خاصیت نیمه تراوی غشای سلولی، در فرآیند اسمز اختلال ایجاد کرده و نیز موجب کاهش بتاکاروتن هویج می‌گردد. نمونه‌ها پس از طی زمان‌های 15، 30، 60، 120، 180 و 240 دقیقه، از محلول اسمزی خارج شدند. به دلیل اهمیت ثابت ماندن نسبت محلول به نمونه در تمامی آزمایش‌ها برای هر زمان انتخابی، بشر جداگانه‌ای حاوی سه قطعه هویج (تکرار) در نظر گرفته شد. پس با توجه به سطوح در نظر گرفته شده برای پارامترهای مستقل آبگیری اسمزی و تعداد 6 نقطه-ی زمانی، تعداد کل برش‌های مکعبی هویج 486 عدد بود. مکعب‌های هویج پس از خروج از محلول هایپرتونیک، با آب مقطر دیونیزه شسته شده و با استفاده از کاغذ حوله‌ای خشک‌کن، آب اضافی آنها گرفته شد (Kargozari, Moini, & Emam-Djomeh, 2010).

تعیین سینتیک انتقال جرم

مکعب‌های هویج تازه و اسمز شده پس از گذشت زمان‌های غوطه‌وری مشخص شده در آون (Heraeus Vacutherm VT6025، آلمان) در دمای 105°C تا رسیدن به وزن ثابت (به مدت 24 ساعت) قرار گرفتند، بدین ترتیب اندازه‌گیری محتوای رطوبت و مواد جامد مطابق متد AOAC شماره 931/04 (Horwutz, 2000) انجام شد. به‌منظور تعیین تغییرات وزنی، تمامی نمونه‌ها با دقت 0/0001 گرم قبل و بعد از تیمار توسط یک ترازوی دیجیتال (AND، HR200، ژاپن) به دقت توزین شدند. روابط زیر به‌منظور محاسبه مقادیر SG و WL به کار برده شدند:

$$WL_{(\frac{g}{g})} = \frac{(M_0-m_0)-(M_t-m_t)}{M_0} \quad (4)$$

$$SG_{(\frac{g}{g})} = \frac{(M_t-m_0)}{M_0} \quad (5)$$

در روابط بالا M عبارت است از وزن (g) و m وزن خشک نمونه (g) است. اندیس 0 و t به ترتیب بیانگر مقادیر اولیه و هر زمان نمونه‌برداری است (رابطه 1 و2).

مدل‌سازی ریاضی سینتیک انتقال جرم

در طبقه‌بندی مدلینگ فرایندهای غذایی، مدل‌های سینتیکی در میان مدل‌های نظری قرار گرفته‌اند. در صورتیکه بتوانیم از مدل‌های سینتیک مبتنی بر بینش علمی بنیادی (فیزیک) برای مقاصد پیشگویی و کنترل تغییراتی که در مواد غذایی واقعی روی می‌دهد استفاده کنیم، این وضعیت بهترین حالت ممکن خواهد بود. اما پیچیدگی مواد غذایی به حدی است که کاربرد مستقیم مدل‌های بنیادی در سیستم‌های غذایی را غیرممکن می‌سازد. چاره این است که سینتیک‌ها مستقیماً در مواد غذایی واقعی مطالعه شوند. در نتیجه مدل‌های به‌دست آمده، تجربی یا در بهترین حالت نیمه تجربی خواهند بود. سینتیک به عنوان یک ابزار بسیار قوی در مدل‌سازی ویژگی‌های کیفی مواد غذایی توسعه یافته است و به عبارتی مدل‌سازی برآورد کیفیت غذایی تقریباً معادل مدل‌سازی سینتیک

1 Peleg’s rate constant
2 Peleg’s capacity constant

واکنش‌ها در مواد غذایی می‌باشد (Van Boekel, 2008). در این پژوهش سینتیک انتقال جرم طی فرایند آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج با سه مدل ریاضی که به‌طور گسترده‌ای برای مواد بیولوژیک و بیشتر مواد غذایی به‌کار می‌روند برازش شد و بدین ترتیب پارامترهای مدل‌ها تعیین گردید. برازش داده‌های آزمایشگاهی با مدل‌های نیمه‌تجربی توسط صفحه گسترده[1] مایکروسافت Excel (Microsoft Office, 2010) با استفاده از SOLVER add-in انجام شد (Hii, Law, & Cloke, 2009). SOLVER یک ابزار قدرتمند می‌باشد که به طور وسیعی در صفحات گسترده در دسترس بوده و با یک دستورالعمل ساده، امکان برازش داده‌های تجربی با توابع غیرخطی را فراهم می‌سازد (Harris, 1998). به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده سینتیک آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج، از پارامترهای آماری نظیر ضریب تبیین (R^2)، مربع کای (χ^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. این شاخص‌ها توسط روابط زیر محاسبه شدند:

$$X^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i}-MR_{pre,i})^2}{N-z}\right] \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2\right)} \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{n}^{i=1}(MR_{exp}-MR_{pre})^2}{\sum_{n}^{i=1}(MR_{exp}-\overline{MR})^2}\right] \quad (8)$$

در این روابط $MR_{exp,i}$ نسبت رطوبت هویج مشاهده شده در iاُمین اندازه‌گیری، $MR_{pre,i}$ نسبت رطوبت پیش‌بینی شده هویج توسط مدل در iاُمین اندازه‌گیری، $\overline{MR}$ نسبت رطوبت تجربی میانگین، N تعداد مشاهده‌ها و z تعداد ضرایب مدل است (روابط3، 4 و5). در انتها مدل برازش یافته با حداکثر ضریب تبیین R^2 و حداقل RMSE و χ^2 به عنوان بهترین مدل برای توصیف سینتیک آبگیری اسمزی هویج انتخاب شد (Bashari, 2015).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

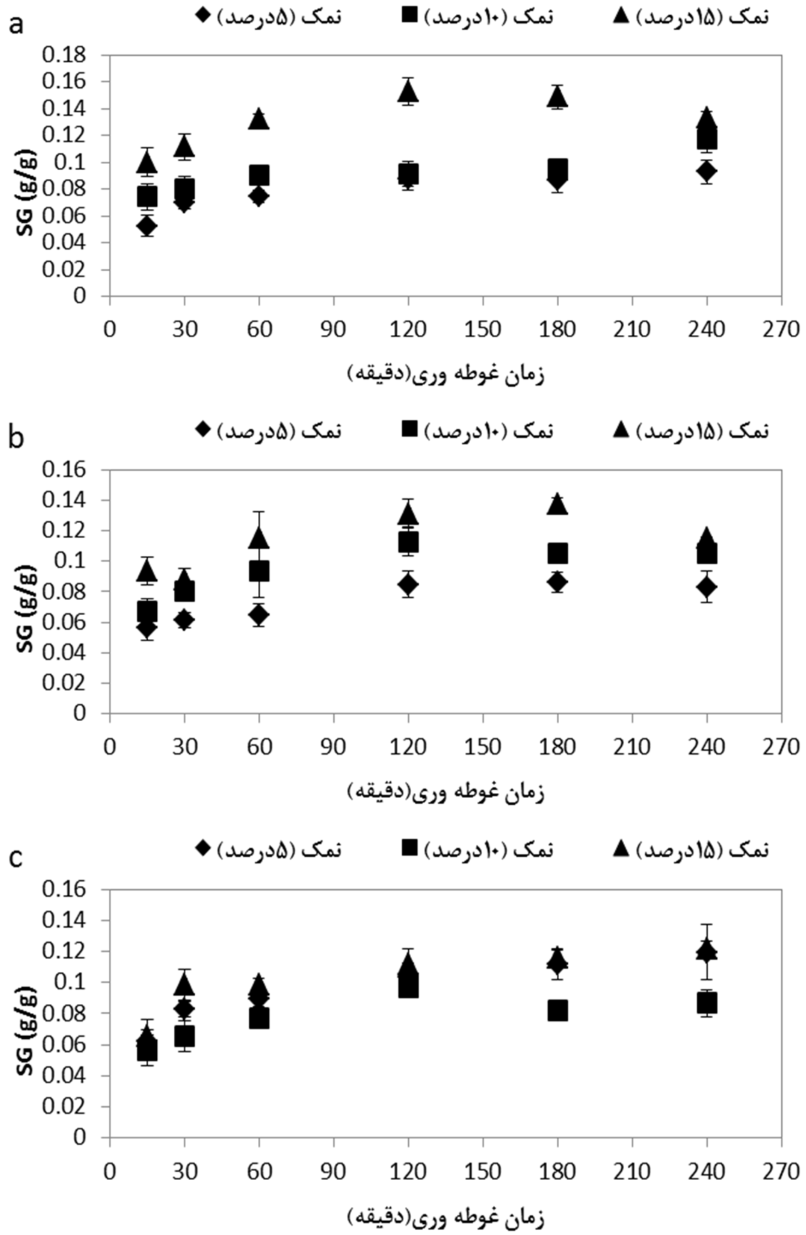
داده‌ها به‌صورت میانگین± انحراف استاندارد هر آزمون با در نظر گرفتن سه تکرار نمایش داده شد. آنالیز آماری در سیستم Statgraphics 5.0 Plus' نسخه 17.1.12) Statistical Graphics Corporation، هرندون، VA، USA) انجام شدند. اختلاف میانگین شاخص‌های SG و WL توسط آزمون‌های بازه چندگانه دانکن[2] مقایسه شدند و حد احتمال $p<0/05$ معنی‌دار در نظر گرفته شد. نمودارها با کمک نرم‌افزار Microsoft Office Excel نسخه 14 ترسیم شدند.

1 Spreadsheet
2 Duncan's multiple range tests

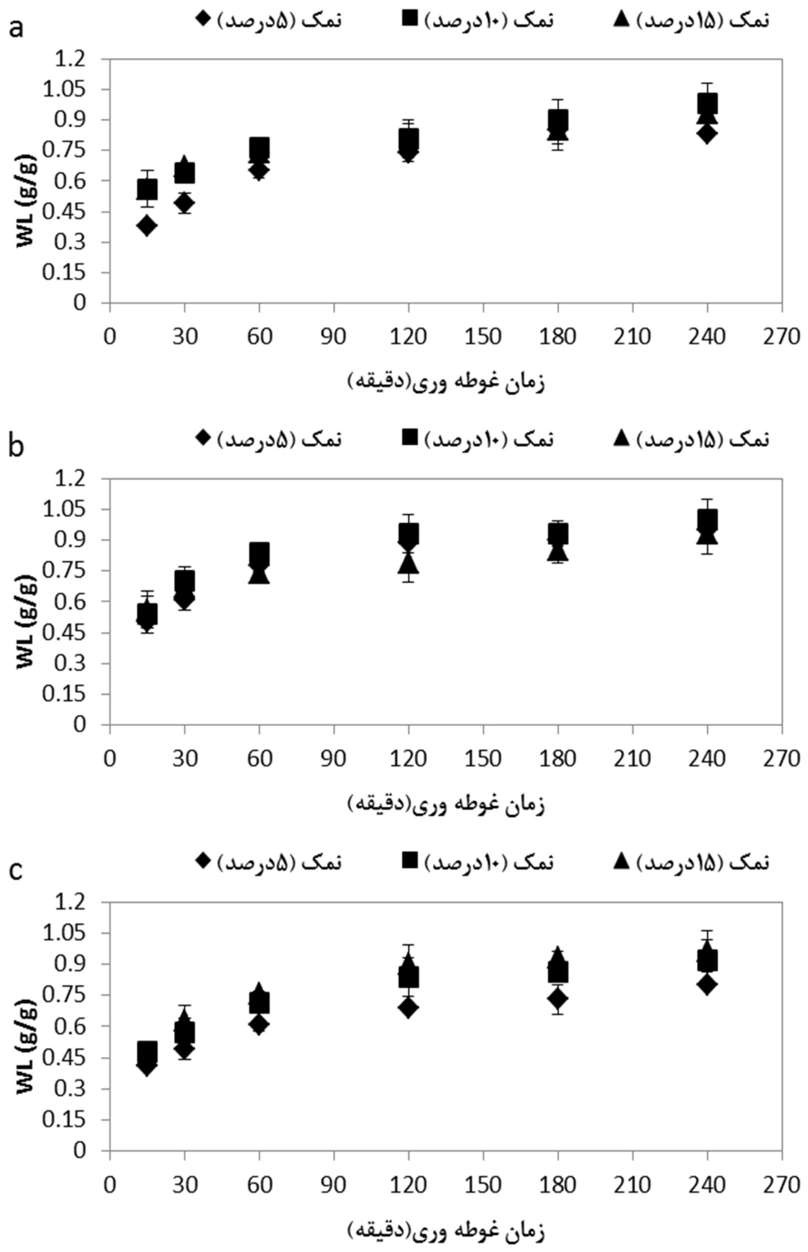
نتایج و بحث

شکل 1 و 2 روند تغییرات جذب مواد جامد و افت رطوبت را طی تیمارهای اسمزی در غلظت ثابت شربت گلوکز (30%)، در دماها و غلظت‌های مختلف نمک نمایش می‌دهد. در غلظت‌های شربت گلوکز 40% و 50% روند تغییرات مشابهی در مورد SG و WL حاکم است (نمودارهای مربوط نمایش داده نشده). ملاحظه می‌شود که افزایش غلظت نمک، میزان جذب مواد جامد را در بیشتر نقاط نمونه‌برداری به شکل معنی‌داری ($p<0/05$) افزایش داده (شکل 1) اما تأثیر معنی‌داری بر میزان آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج نداشت (شکل 2). افزایش در میزان جذب مواد جامد، منجر به انسداد لایه‌های سطحی نمونه شده و در نتیجه، کاهش گرادیان غلظت بین نمونه و محلول اسمزی موجب مقاومت در برابر انتقال جرم و عدم افزایش نرخ WL در غلظت‌های بالای نمک در زمان فرایند گردید (Kargozari, Emam-Djomeh, & Moini, 2011). همان‌گونه که انتظار می‌رفت، شاخص‌های SG و WL با افزایش زمان غوطه‌وری افزایش یافتند. منحنی‌های مشابهی در مورد میوه‌جات و سبزیجات اسمز شده مختلف منتشر شده است (Ganjloo *et al.*, 2012; García-Toledo *et al.*, 2016). با توجه به شکل 1 و 2 نرخ سریعتر SG و WL در زمان‌های ابتدایی فرایند اسمزی مشهود است که به دلیل وجود گرادیان‌های فشار اسمزی بیشتر در مراحل ابتدایی است و با گذشت 120 دقیقه از آغاز فرایند محلول اسمزی رقیق‌تر شده و انتقال جرم به حالت تعادلی می‌رسد (Bahmani, Jafari, Shahidi, & 2015). یافته‌های تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که مقادیر SG و WL در محلول‌های اسمزی غلیظ‌تر بالاتر بوده است (Park et al., 2002). این موضوع در مورد میزان بیشتر انتقال جرم در غلظت‌های بالاتر نمک و غلظت ثابت شربت گلوکز در شکل 1 و 2 مشخص است. دمای بالاتر فرایند نیز منجر به تشدید انتقال جرم می‌گردد. تحقیقات نشان داده است که تخریب غشای سلولی در دمای بالاتر منجر به افزایش جذب مواد جامد در ساختارهای گیاهی طی تیمار اسمزی می‌شود (Ciurzyńska, Kowalska, Czajkowska, & Lenart, 2016). به‌منظور جلوگیری از جذب مواد جامد از محلول اسمزی استفاده از پوشش‌های خوراکی پیش از انجام فرایند آبگیری اسمزی در مورد میوه‌جات و سبزیجات توصیه می‌شود که در عین حال تأثیر چندانی بر میزان حذف رطوبت ندارد (Saini, 2015).

معادلات Magee، Peleg و Page به‌منظور بررسی سینتیک‌های موجود در آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج به کار برده شدند. یک مدل ریاضی قابل قبول مدلی است که بتواند با شرایط واقعی فرایند تطبیق داشته باشد و با دقت قابل قبولی تغییرات مورد نظر را تحلیل کند.



شکل 1- مقادیر SG آزمایشی طی آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج در دماهای مختلف محلول اسمزی: 50°C (a)، 40°C (b)، 30° C (c)، و غلظت‌های مختلف نمک محلول اسمزی.



شکل 2- مقادیر WL آزمایشی طی آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج در دماهای مختلف محلول اسمزی: 50°C (a)، 40°C (b)، 30° C (c)، و غلظت‌های مختلف نمک محلول اسمزی.

جدول 1، 2 و3 به ترتیب، پارامترهای مدل و پارامترهای آماری مربوط به مدل Magee، Peleg و Page را تحت شرایط آزمایشی مختلف نشان می‌دهند. پارامترهای آماری آزمون شده شامل χ^2، R^2 و RMSE بودند. مقادیر R^2 در تمامی مدل¬های بررسی شده مقادیر نسبتاً بالایی داشته و در این میان استثناهایی وجود دارند که مقادیر پایین R2 در این موارد را می¬توان ناشی از خطای آزمایش دانست.

به منظور انتخاب بهترین مدل پیش¬بینی¬کننده منحنی انتقال جرم طی فرایند آبگیری اسمزی مکعب¬های هویج، بالاتر بودن ضریب تبیین، و کمتر بودن مقادیر کای دو و ریشه میانگین مربعات خطا مورد توجه قرار گرفتند.

جدول 1- ضرایب مدل Magee و معیارهای ارزیابی مدل در شرایط مختلف آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج.

شماره نمونه	دمای محلول (°C)	نمک (%)	شربت گلوکز (%)	پارامترهای مدل Magee برای SG					پارامترهای مدل Magee برای WL				
				χ^2	RMSE	R^2	*K*	*A*	χ^2	RMSE	R^2	*K*	*A*
1	50	5	30	0/002	0/005	0/88	0/003	0/047	0/021	0/047	0/93	0/040	0/278
2	50	10	30	0/002	0/005	0/85	0/003	0/063	0/002	0/023	0/98	0/034	0/453
3	50	15	30	0/006	0/012	0/61	0/004	0/096	0/005	0/025	0/96	0/028	0/489
4	40	5	30	0/007	0/004	0/88	0/003	0/047	0/007	0/027	0/95	0/029	0/351
5	40	10	30	0/004	0/008	0/75	0/003	0/062	0/021	0/050	0/91	0/038	0/414
6	40	15	30	0/007	0/012	0/57	0/003	0/082	0/025	0/055	0/88	0/035	0/486
7	30	5	30	0/002	0/004	0/95	0/004	0/052	0/007	0/025	0/97	0/032	0/317
8	30	10	30	0/005	0/008	0/65	0/003	0/053	0/012	0/038	0/94	0/037	0/376
9	30	15	30	0/005	0/008	0/80	0/004	0/064	0/027	0/056	0/90	0/041	0/384
10	50	5	40	0/002	0/006	0/92	0/005	0/066	0/018	0/045	0/91	0/034	0/352
11	50	10	40	0/003	0/007	0/58	0/002	0/098	0/011	0/036	0/95	0/038	0/457
12	50	15	40	0/005	0/010	0/33	0/002	0/104	0/025	0/061	0/79	0/028	0/572
13	40	5	40	0/003	0/007	0/39	0/001	0/075	0/008	0/030	0/97	0/042	0/394
14	40	10	40	0/005	0/009	0/52	0/002	0/097	0/033	0/066	0/85	0/037	0/440
15	40	15	40	0/003	0/006	0/54	0/002	0/080	0/008	0/035	0/96	0/043	0/470
16	30	5	40	0/001	0/003	0/93	0/003	0/054	0/009	0/033	0/96	0/041	0/328
17	30	10	40	0/006	0/010	0/25	0/001	0/082	0/022	0/052	0/89	0/035	0/436
18	30	15	40	0/000	0/001	0/99	0/004	0/068	0/010	0/036	0/96	0/041	0/409
19	50	5	50	0/005	0/008	0/42	0/002	0/072	0/009	0/034	0/95	0/038	0/500
20	50	10	50	0/004	0/007	0/65	0/002	0/065	0/026	0/064	0/92	0/053	0/469
21	50	15	50	0/002	0/006	0/74	0/002	0/093	0/054	0/092	0/74	0/037	0/621
22	40	5	50	0/004	0/007	0/54	0/002	0/061	0/016	0/047	0/95	0/052	0/402
23	40	10	50	0/002	0/005	0/94	0/005	0/054	0/029	0/062	0/92	0/051	0/424
24	40	15	50	0/003	0/007	0/46	0/001	0/088	0/032	0/072	0/88	0/048	0/513
25	30	5	50	0/001	0/003	0/89	0/002	0/049	0/017	0/046	0/94	0/043	0/404
26	30	10	50	0/024	0/007	0/74	0/003	0/063	0/024	0/053	0/92	0/044	0/437
27	30	15	50	0/013	0/010	0/65	0/003	0/067	0/007	0/033	0/97	0/044	0/493

نتایج نشان داد که داده‌های آزمایشی WL در فرایند آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج، برازش خوبی با هر سه مدل Magee، Peleg و Page با مقادیر میانگین ضرایب تبیین به‌ترتیب 0/92، 0/96 و 0/97 ومیانگین مقادیر RMSE 0/046، 0/031 و 0/027 و میانگین مقادیر مربع کای 0/006، 0/008 و 0/006 داشتند. این درحالی بود که با در نظر گرفتن پارامتر ضریب تبیین به‌عنوان شاخص مناسب بودن مدل[1]، داده‌های آزمایشی SG نسبت به داده‌های افت رطوبت برازش کمتری با مدل‌های ارائه شده نشان دادند. مقادیر میانگین ضرایب تبیین برای SG طی فرایند آبگیری اسمزی به ترتیب 0/68، 0/81 و 0/79 ومیانگین مقادیر RMSE 0/007، 0/005 و 0/006 و میانگین مقادیر مربع کای 0/005، 0/003 و 0/002 ثبت شدند. با توجه به نتایج برازش مدل عنوان شده در جداول 1، 2 و 3 و با در نظر گرفتن مقادیر میانگین پارامترهای ارزیابی مدل R^2 ، χ^2 و RMSE، چنین نتیجه گیری شد که مدل‌های پیشنهادی Peleg و همکاران (چند جمله‌ای درجه دو[2]) و مدل پیشنهادی Page و همکاران (لگاریتمی[3]) نسبت به مدل پیشنهادی Magee و همکاران (چند جمله‌ای درجه دو) قابلیت بیشتری برای توصیف سینتیک انتقال جرم در فرایند آبگیری اسمزی هویج دارند.

1 Model goodness

2 Second order polynomial

3 Logarithmic

جدول 2- ضرایب مدل Peleg و معیارهای ارزیابی مدل در شرایط مختلف آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج.

شماره نمونه	دمای محلول (°C)	نمک (%)	شربت گلوکز (%)	پارامترهای مدل Peleg برای SG					پارامترهای مدل Peleg برای WL				
				χ^2	RMSE	R^2	$1/K_2$	$1/K_1$	χ^2	RMSE	R^2	$1/K_2$	$1/K_1$
1	50	5	30	0/000	0/003	0/96	0/095	0/008	0/006	0/024	0/98	0/921	0/038
2	50	10	30	0/004	0/008	0/67	0/105	0/014	0/015	0/044	0/91	0/961	0/074
3	50	15	30	0/003	0/008	0/83	0/151	0/018	0/009	0/035	0/91	0/904	0/088
4	40	5	30	0/006	0/005	0/82	0/088	0/008	0/005	0/021	0/97	0/800	0/053
5	40	10	30	0/001	0/004	0/93	0/114	0/010	0/004	0/020	0/99	0/001	0/059
6	40	15	30	0/006	0/010	0/66	0/132	0/016	0/002	0/016	0/99	1/032	0/074
7	30	5	30	0/001	0/004	0/95	0/121	0/008	0/008	0/027	0/96	0/813	0/046
8	30	10	30	0/002	0/005	0/83	0/093	0/009	0/008	0/027	0/97	0/958	0/054
9	30	15	30	0/002	0/005	0/93	0/125	0/010	0/001	0/010	1/00	1/032	0/053
10	50	5	40	0/002	0/006	0/93	0/141	0/010	0/010	0/034	0/95	0/875	0/051
11	50	10	40	0/000	0/003	0/93	0/129	0/026	0/008	0/031	0/96	1/043	0/069
12	50	15	40	0/003	0/008	0/51	0/129	0/034	0/010	0/039	0/91	0/995	0/101
13	40	5	40	0/002	0/005	0/66	0/096	0/022	0/012	0/039	0/95	1/040	0/057
14	40	10	40	0/002	0/005	0/84	0/133	0/024	0/005	0/027	0/98	1/024	0/063
15	40	15	40	0/001	0/003	0/88	0/105	0/021	0/024	0/054	0/91	1/123	0/070
16	30	5	40	0/001	0/004	0/88	0/096	0/010	0/015	0/037	0/96	0/979	0/045
17	30	10	40	0/004	0/009	0/45	0/104	0/024	0/003	0/020	0/98	0/981	0/064
18	30	15	40	0/002	0/006	0/89	0/134	0/012	0/010	0/034	0/96	1/054	0/059
19	50	5	50	0/002	0/005	0/78	0/099	0/016	0/009	0/036	0/95	1/073	0/078
20	50	10	50	0/005	0/007	0/69	0/100	0/014	0/007	0/033	0/98	1/301	0/065
21	50	15	50	0/001	0/003	0/93	0/130	0/023	0/000	0/037	0/96	1/205	0/095
22	40	5	50	0/004	0/007	0/58	0/088	0/014	0/008	0/031	0/98	1/229	0/056
23	40	10	50	0/002	0/006	0/93	0/128	0/008	0/002	0/018	0/99	1/242	0/059
24	40	15	50	0/001	0/004	0/78	0/111	0/027	0/015	0/046	0/95	1/261	0/073
25	30	5	50	0/001	0/004	0/76	0/073	0/012	0/004	0/021	0/99	1/084	0/057
26	30	10	50	0/001	0/004	0/93	0/108	0/011	0/005	0/028	0/98	1/121	0/063
27	30	15	50	0/007	0/005	0/89	0/116	0/012	0/020	0/053	0/92	1/170	0/074

نتایج ما مشابه نتایج به‌دست آمده توسط Ganjloo و همکاران (2012) بود که چنین دریافتند که در بررسی سینتیک آبگیری اسمزی گواوای بی‌دانه، در میان مدل‌های Azuara، Peleg و Page مدل نیمه‌تجربی Peleg به‌طور رضایت بخشی سینتیک آبگیری اسمزی گواوا را توصیف نمود. در این مطالعه پارامترهای آماری R^2، E (شاخص میانگین پراکندگی نسبی[4]) و RMSE، به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل مورد توجه قرار گرفتند (Ganjloo *et al.*, 2012). همچنین Bahmani و همکاران (1394) در بررسی سینتیک انتقال جرم طی فرایند آبگیری اسمزی حلقه‌های بادمجان چنین بیان کردند که مدل Magee نسبت به مدل Azuara، قابلیت کمتری در توصیف سینتیک انتقال جرم دارد. در این تحقیق R^2، SSE (مجموع مربعات خطا[5]) و RMSE پارامترهای ارزیابی مدل بودند (Bahmani *et al.*, 2015). شکل‌های 3-5 مقادیر جذب ماده جامد و افت رطوبت به‌دست آمده آزمایشی و پیش‌بینی شده توسط مدل‌های Peleg، Magee و Page در غلظت شربت گلوکز 30% و دمای 50°C و غلظت‌های نمک 15، 10 و 5 درصد را نشان می‌دهد. خطوط روند[6]ترسیم‌شده برای داده‌های پیش‌بینی‌شده با توجه به نوع معادلات انتخاب شده‌است. همانگونه که در شکل 4 و 5 مشاهده

4 Mean relative deviation modulus (E)

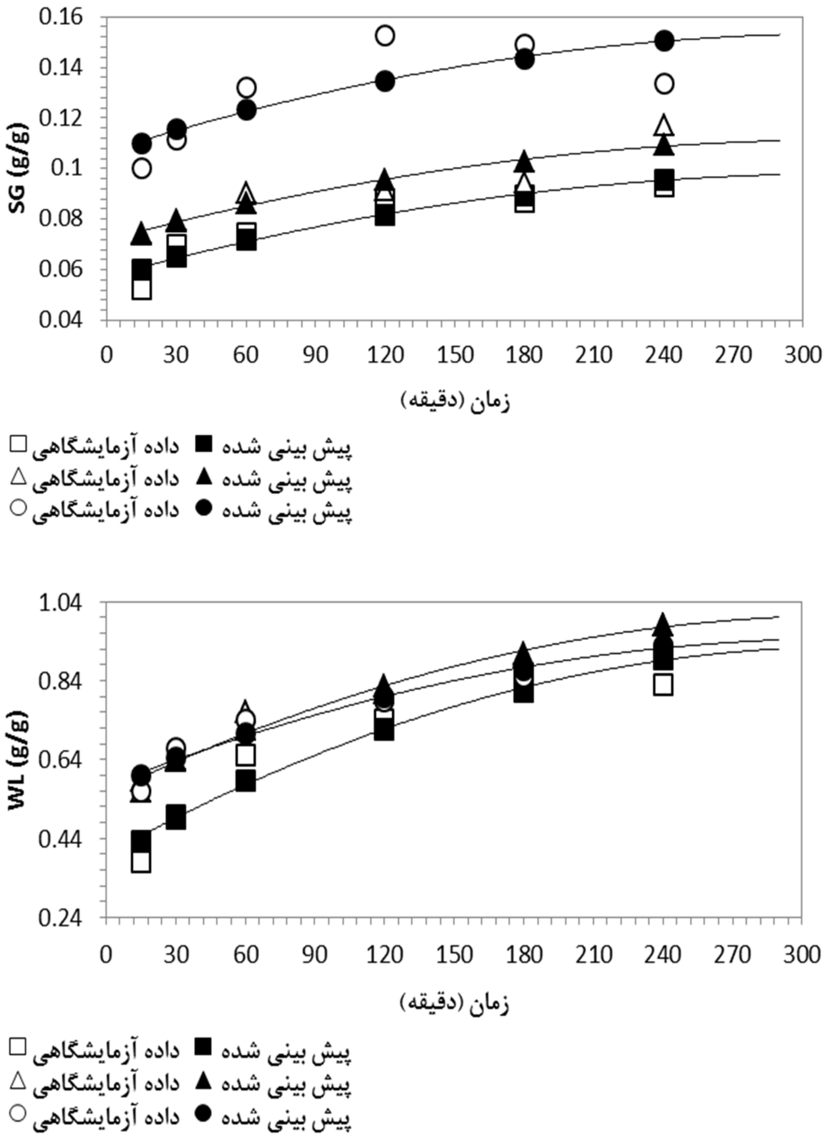
5 Square sum of errors

6 Trendline

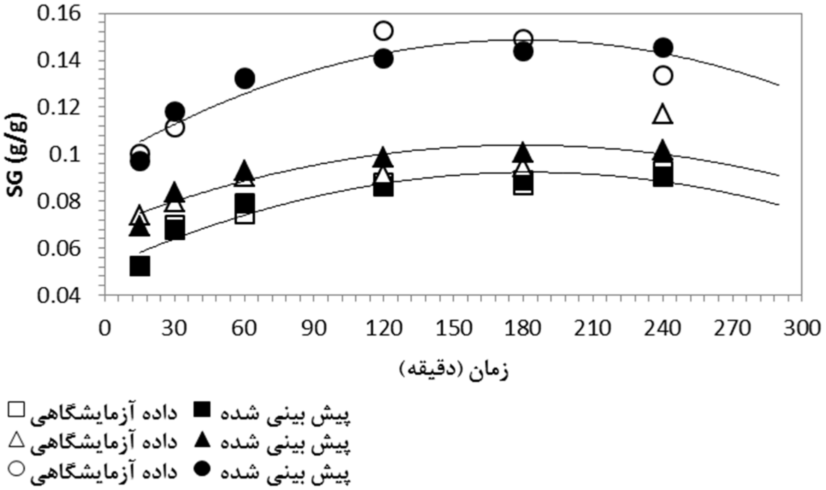
می‌شود مدل‌های Peleg و Page نسبت به مدل Magee تطابق بیشتری با داده‌های آزمایشی نشان می‌دهند. در مطالعه حاضر مدل Magee کمترین برازش را با داده‌های تجربی شاخص انتقال جرم SG (R^2=0/68) نشان داد. این یافته با نتایج به‌دست آمده توسط Singh و همکاران (2007) متفاوت بود. در این تحقیق سینتیک انتقال جرم طی فرایند آبگیری اسمزی قطعات هویج در محلول اسمزی ساکارز و نمک مورد مطالعه قرار گرفت. در میان مدل‌های بررسی شده شامل مدل Penetration، Azuara و Magee، جذب مواد جامد به خوبی توسط مدل Magee نمایش داده شد (Singh *et al.*, 2007). این موضوع می‌تواند در نتیجه تفاوت شرایط فرایند آبگیری اسمزی در دو مطالعه به ویژه نوع ترکیبات و غلظت آنها در محلول اسمزی باشد

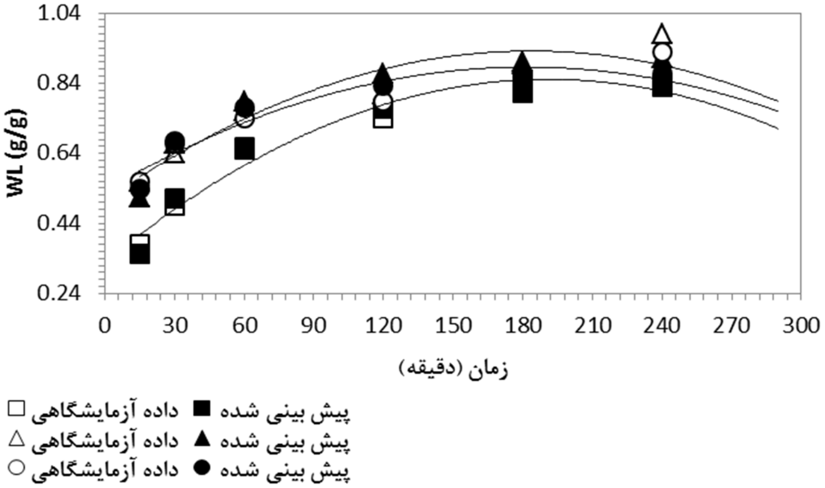
جدول 3- ضرایب مدل Page و معیارهای ارزیابی مدل در شرایط مختلف آبگیری اسمزی مکعب‌های هویج.

شماره نمونه	دمای محلول (°C)	نمک (%)	شربت گلوکز (%)	پارامترهای مدل Page برای SG					پارامترهای مدل Page برای WL				
				χ^2	RMSE	R^2	*n*	*K*	χ^2	RMSE	R^2	*n*	*K*
1	50	5	30	0/001	0/003	0/96	0/530	0/207	0/005	0/025	0/98	0/717	0/082
2	50	10	30	0/003	0/007	0/77	0/306	0/416	0/007	0/032	0/95	0/453	0/236
3	50	15	30	0/005	0/011	0/68	0/725	0/183	0/005	0/026	0/95	0/414	0/300
4	40	5	30	0/015	0/005	0/85	0/510	0/249	0/002	0/014	0/99	0/557	0/171
5	40	10	30	0/001	0/004	0/93	0/700	0/144	0/002	0/016	0/99	0/616	0/135
6	40	15	30	0/010	0/013	0/45	0/617	0/269	0/002	0/017	0/99	0/575	0/167
7	30	5	30	0/001	0/003	0/97	0/517	0/184	0/003	0/019	0/98	0/538	0/159
8	30	10	30	0/002	0/005	0/84	0/682	0/155	0/003	0/019	0/99	0/580	0/144
9	30	15	30	0/002	0/006	0/91	0/542	0/201	0/001	0/010	1/00	0/674	0/105
10	50	5	40	0/001	0/005	0/94	0/568	0/180	0/009	0/035	0/94	0/636	0/131
11	50	10	40	0/000	0/003	0/93	0/778	0/184	0/004	0/022	0/98	0/534	0/179
12	50	15	40	0/007	0/011	0/07	1/724	0/020	0/015	0/048	0/87	0/664	0/181
13	40	5	40	0/002	0/005	0/64	0/665	0/233	0/006	0/028	0/97	0/554	0/151
14	40	10	40	0/001	0/003	0/94	1/473	0/024	0/007	0/032	0/96	0/747	0/100
15	40	15	40	0/000	0/003	0/92	0/763	0/182	0/014	0/044	0/94	0/542	0/175
16	30	5	40	0/001	0/003	0/93	0/419	0/310	0/009	0/031	0/97	0/625	0/116
17	30	10	40	0/006	0/009	0/36	2/405	0/003	0/003	0/021	0/98	0/657	0/132
18	30	15	40	0/001	0/004	0/95	0/442	0/266	0/005	0/026	0/98	0/588	0/142
19	50	5	50	0/003	0/006	0/68	2/370	0/002	0/005	0/029	0/97	0/530	0/197
20	50	10	50	0/005	0/007	0/69	0/328	0/44	0/007	0/034	0/98	0/677	0/105
21	50	15	50	0/001	0/003	0/93	0/532	0/325	0/010	0/041	0/95	0/840	0/090
22	40	5	50	0/004	0/007	0/58	0/513	0/350	0/004	0/024	0/99	0/635	0/108
23	40	10	50	0/001	0/005	0/95	0/488	0/190	0/002	0/017	0/99	0/644	0/107
24	40	15	50	0/001	0/004	0/76	0/665	0/281	0/015	0/047	0/95	0/683	0/115
25	30	5	50	0/001	0/003	0/83	0/301	0/520	0/002	0/015	0/99	0/610	0/126
26	30	10	50	0/001	0/005	0/90	0/716	0/154	0/005	0/026	0/98	0/571	0/144
27	30	15	50	0/002	0/005	0/89	0/740	0/121	0/010	0/039	0/96	0/518	0/183

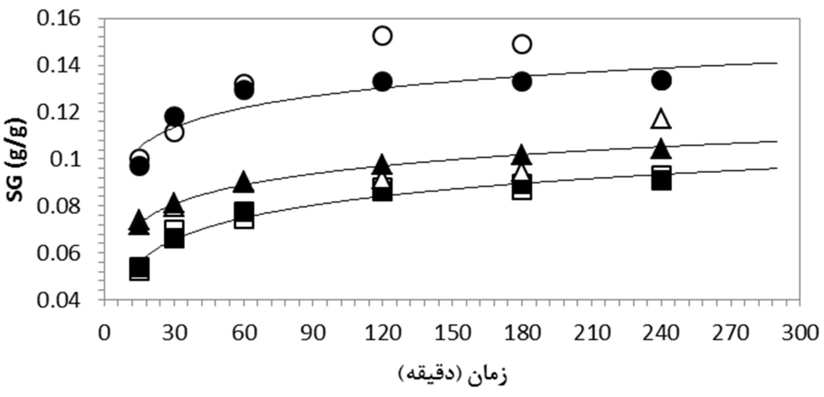


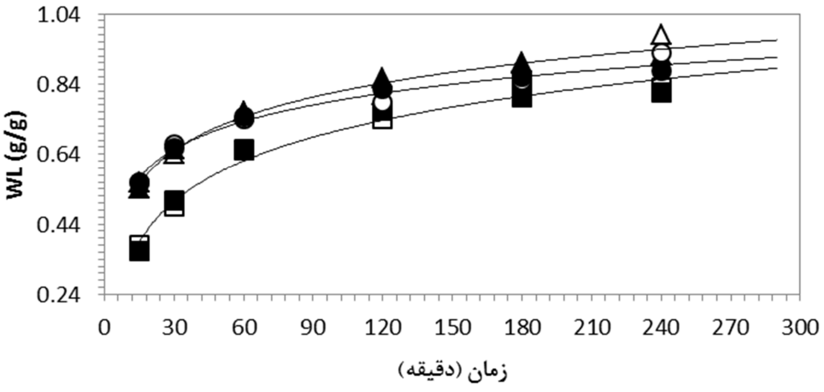
شکل **3-** مقادیر SG و WL به دست آمده‌ی آزمایشی و پیش‌بینی شده توسط مدل Magee در غلظت شربت گلوکز **30%** و دمای **50°C** و غلظت نمک **15%** (○)، **10%** (△) و **5%** (□)؛ خطوط روند چند جمله‌ای درجه دو برای داده‌های پیش‌بینی‌شده رسم شده‌است.





شکل 4- مقادیر SG و WL به دست آمده‌ی آزمایشی و پیش‌بینی شده توسط مدل Peleg در غلظت شربت گلوکز 30% و دمای 50°C و غلظت نمک 15% (○)، 10% (△) و 5% (□)؛ خطوط روند چند جمله‌ای درجه دو برای داده‌های پیش‌بینی‌شده رسم شده‌است.





شکل 5- مقادیر SG و WL به دست آمده‌ی آزمایشی و پیش‌بینی شده توسط مدل Page در غلظت شربت گلوکز 30% و دمای 50°C و غلظت نمک 15% (○)، 10% (△) و 5% (□)؛ خطوط روند لگاریتمی برای داده‌های پیش‌بینی‌شده رسم شده‌است.

نتیجه‌گیری

عملیات آبگیری اسمزی به طور گسترده‌ای بـه عنـوان مرحلـه‌ی بالادستی پیش از فرایندهایی نظیر انجماد، خشک کردن با هوای داغ، خشک کردن تحت خلأ و خشک کردن انجمادی انجام می‌گیرد. این پیش‌تیمار به منظور افزایش کیفیت حسی، تغذیه‌ای و فراسودمندی و با حفظ یکپارچگی[7] فراورده‌های نهایی به کار برده می‌شود.

به منظور دستیابی به خصوصیات مطلـوب فـراورده‌هـای غـذایی نیازمند درک فرایند و کنترل شرایط فرایند هستیم. مدل‌ها مؤلفه‌های اصلی (شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و کنترل) شیوه‌های مهندسی سیستم-های فرایند مدرن به شمار می‌روند. مدل‌های نیمه تجربـی متعـددی برای توصیف انتقال جرم در طول آبگیری اسمزی محصولات غذایی گزارش شده است. در این پژوهش فراینـد آبگیـری اسـمزی قطعـات مکعبی شکل هویج تحت شرایط گوناگون آبگیری مطالعه شد. نتـایج برازش مدل های سینتیکی نشان داد که مدل‌های پیشنهادی Peleg و همکاران (چنـد جملـه‌ای درجـه دو[8]) و مـدل پیشـنهادی Page و همکاران (لگاریتمی[9]) نسبت به مدل پیشنهادی Magee و همکـاران

7 Integrity

8 Second order polynomial
9 Logarithmic

(چند جمله‌ای درجه دو) قابلیت بیشتری برای توصیف سینتیک انتقال جرم در فرایند آبگیری اسمزی هویج دارند. این نتیجه‌گیری با در نظر گرفتن مقادیر میانگین پارامترهای ارزیابی مدل شامل حداکثر R^2بالاتر و حداقل χ^2 و RMSE انجام شد. بدین ترتیب مدل‌های ارائه شده توسط Peleg و Page نسبت به مدل Magee قابلیت بهتری در پیش‌بینی سینتیک‌های فرایند آبگیری اسمزی و مقادیر SG و WL تعادلی دارند.

منابع

Ahmed, I., Qazi, I. M., & Jamal, S., 2016, Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 29-43 .

Bahmani, A. A., Jafari, S. M., & Shahidi, S. A., 2015, Kinetic modeling of mass transfer during osmotic dehydration of eggplant (*Solanum Melongena* L.). *Iranian Journal of Food Technology and Nutrition*, 12(3), 65-76 .

Bashari, S. T., Hamid, Mokhtarian, M., 2015, Monitoring of thin layer drying kinetics of Rhubarb during ultrasound-osmotic dehydration process. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 46(3), 255-263 .

Chavan, U., & Amarowicz, R., 2012, Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2), 202-215.

Ciurzyńska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K., & Lenart, A., 2016, Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 186-192 .

Datta, A. K., 2008, Status of Physics-Based Models in the Design of Food Products, *Processes, and Equipment. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 121-129 .

Datta, A. K., & Halder, A., 2008, Status of food process modeling and where do we go from here (synthesis of the outcome from brainstorming). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 117-120 .

Ganjloo, A., Rahman, R. A., Bakar, J., Osman, A., & Bimakr, M., 2012, Kinetics modeling of mass transfer using Peleg's equation during osmotic dehydration of seedless guava (*Psidium guajava* L.): effect of process parameters. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2151-2159 .

García-Toledo, J. A., Ruiz-López, I. I., Martínez-Sánchez, C. E., Rodríguez-Miranda, J., Carmona-García, R., Torruco-Uco, J. G., Herman-Lara, E., 2016, Effect of osmotic dehydration on the physical and chemical properties of Mexican ginger (Zingiber officinale var. Grand Cayman). CyTA-*Journal of Food*, 14(1), 27-34 .

Harris, D. C., 1998, Nonlinear least-squares curve fitting with Microsoft Excel Solver .*Journal of chemical education*, 75(1), 119-130 .

Hathan, B. S., 2015, Studies on Mass Transfer and Diffusion Coefficients in Elephant Foot Yam (*Amorphophallus* spp.) during osmotic dehydration in sodium chloride solution. Journal of food processing and preservation, DOI: 10.1111/jfpp.12631.

Hii, C., Law, C., & Cloke, M., 2009, Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 191-198 .

Horwutz, W., 2000, Official methods of analysis of AOAC International. 17th edn. vol .1 .AOAC Int, Gaithersburg, MD .

Ivester, R. W., 2008, Productivity improvement through modeling: an overview of manufacturing experience for the food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 182-191 .

Júnior, B., Lucena, J ,.Cordeiro Mancini, M., & Hubinger, M. D., 2013, Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(12) ,2463-2473.

Kargozari, M., Emam-Djomeh, Z., & Moini, S., 2011, Optimization of osmotic dehydration of carrot cubes using response surface methodology. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 42(2), 215-224.

Kargozari, M., Moini, S., & Emam-Djomeh, Z., 2010, Prediction of some physical properties of osmodehydrated carrot cubes using response surface methodology. *Journal of food processing and preservation*, 34(6), 1041-1063 .

Moreira, R., & Sereno, A. M., 2003, Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *Journal of Food Engineering*, 57(1), 25-31 .

Park, K. J., Bin, A., Brod, F .P. R., & Park, T. H. K. B., 2002, Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). *Journal of Food Engineering*, 52(3), 293-298 .

Pavelkić, V. M., Brdarić, T. P., Petrović, M. P., Šekularac, G. M., Košević, M. G., Pezo, L. L., & Ilić, M .A., 2015, Application of Peleg model on mass transfer kinetics during osmotic dehydratation of pear cubes in sucrose solution. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 21(4), 485-492 .

Saini, C., 2015, Mass Transfer Kinetics during Osmotic Dehydration of Pineapple Samples Coated with Pectin. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 8(2), 467-476 .

Singh, B., Kumar, A., & Gupta, A., 2007, Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 471-480 .

Souraki, B. A., Ghaffari, A., & Bayat, Y., 2012, Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution. *Food and bioproducts processing*, 90(1), 64-71 .

Sutar, P., & Gupta, D., 2007, Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 90-97 .

Van Boekel, M. A., 2008, Kinetic modeling of food quality: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 144-158 .

Yadav, A. K., & Singh, S. V., 2014, Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1654-1673 .

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 704-719

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 719-704

Mass transfer kinetics and mathematical modeling of the osmotic dehydration of carrot cubes in glucose syrup and salt solutions

M. Kargozari[10*], M. Jamshid-Eini

Received: 2016.05.24
Accepted: 2016.10.22

Introduction: The osmotically dehydrated carrots can be added directly into soups, stews or can be used in a broad range of food formulations including instant soups, snack seasoning and etc. Osmotic dehydration is a suitable way to produce the shelf-stable products or partially dehydrated foods ready to place in other complementary processes such as air-drying, freezing and others. Modeling can certainly make differences in the food industry, leading to reduced costs and increased profitability. In food technology, at the simplest level, there are equations that determine the relationship between two or more variable. Simulation models in operation units and food preservation systems have attracted much attention in the past four decades. The mathematical equations describing mass transfer during osmotic dehydration, allow a better understanding of the composition of the material and operating parameters during dewatering. In this regard, many experimental and theoretical models have been reported in the literature but experimental models have more popularity because of easier applications. Regarding the classification of modeling in food processes, kinetic models are classified among theoretical models. It was ideal if we could use kinetic models based on fundamental scientific theories for the purposes of prediction and controlling the changes that occur in real food systems. But the complexity of the food makes the direct application of basic models impossible. The alternative is the direct study of kinetics on real food. As a result, the obtained models would be experimental or semi-experimental. Kinetics has developed as a powerful tool in modeling food quality features and in other words the modeling of food quality estimation is almost equivalent to the modeling of reaction kinetics in foods. The present study aimed to evaluate kinetics of osmotic dehydration of carrot cubes in terms of solid gain and water loss, which was studied at three glucose syrup concentration levels (30, 40 and 50% w/w), three salt concentration levels (5, 10 and 15% w/w) and three temperature levels of osmotic solution (30, 40 and 50°C) for 240 min. The experimental data were fitted to different semi-empirical kinetic models including Magee, Peleg and Page.

Materials and methods: Fresh well graded carrots were washed and peeled manually. A vegetable dicer was used to prepare carrot cubes of dimensions 1 cm× 1cm× 1 cm. The cubes were washed with fresh water to remove the carrot fines adhered to the surface of the fruit. The initial moisture content of the fresh carrot cubes varied from 86% to 90% (wet basis). Considering the greater effectiveness of a mixture of solutes over a single solute, a binary solution of salt and glucose syrup was used as the osmotic solution. The samples were excluded from the osmotic solution after 15, 30, 60, 120, 180 and 240 minutes. Carrot cubes were then washed with deionized distilled water, and were dried using a paper towel. Evaluation of mass exchange between the solution and sample during osmotic dehydration were made by using water loss and solid gain parameters. The experimental data were then fitted to different semi-empirical kinetic models including Magee, Peleg and Page which are widely used in biologic fields and the parameters of the models were determined. Data fitting was conducted using Microsoft Excel spreadsheet (Microsoft Office, 2010) using SOLVER add-in. Coefficient of determination (R^2), chi-squared (χ^2) and root mean square error (RMSE) were used to determine the best suitable model. An analysis of variance was conducted to determine the significant effects of process variables on solid gain and water loss.

Results and Discussion: At the beginning of the osmotic dehydration process, because of the high osmotic driving force between the concentrated solution and the fresh sample, the rate of water removal and solid gain was relatively high. Although water loss reached nearly the equilibrium conditions towards the late processing times, solid gain kept increasing. This increase in solid gain blocks the surface layers of the product, which reduces the concentration gradient between the product and osmotic solution, posing an additional resistance to mass exchange and lowering the rates of water loss at further processing times. It was also observed that while increasing the salt concentration, the solid gain in most of the samples significantly (p<0.05) increased but salt

10 Department of Food Science, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran
(*Corresponding Author: mina_kargozari@ut.ac.ir)

concentration had no significant effect on the osmotic dehydration of carrot cubes.

Among the models applied, Peleg model well represented the experimental data for solid gain (R^2=0.81, χ^2=0.006, RMSE= 0.027); whereas water loss was well represented by the Page model (R^2=0.97, χ^2=0.003, RMSE= 0.005). Curves related to experimental data as well as predicted data by Magee; Peleg and Page models were drawn. It was observed that proposed models by Peleg and Page, compared to Magee's model, were better able to predict the osmotic dehydration process kinetics and equilibrium values of SG and WL.

Key words: Osmotic Dehydration, Mass Transfer Kinetics, Mathematical Modeling, Model Fit, Carrot.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 720-729

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 729-720

اثر پوشش‌های سلوفان و کیتوزان بر ویژگی‌های کیفی و انبارمانی فلفل دلمه‌ای رقم "کالیفرنیا واندر"

میثم محمدی[1]- مهدی صیدی[*2]- اورنگ خادمی[3]

تاریخ دریافت: 1395/03/18
تاریخ پذیرش: 1395/10/27

چکیده

نرم شدن و پلاسیدگی سریع، تغییر رنگ، تغییرات در محتوای متابولیت‌های میوه، ضایعات بالا و کاهش بازارپسندی به دلیل آلودگی‌های قارچی از جمله مشکلات پس از برداشت فلفل دلمه‌ای در انبار می‌باشند. امروزه برای کاستن ضایعات و حفظ کیفیت محصول علاوه بر کاهش دمای انبار، توجه به موادی مانند نوع پوشش در بسته‌بندی ضروری می‌باشد. بنابراین در راستای کاهش ضایعات پس از برداشت فلفل دلمه‌ای در پژوهش حاضر اثر پوشش‌های سلوفان و کیتوزان بر خواص کیفی و بیوشیمیایی فلفل دلمه‌ای رقم"کالیفرنیا واندر" طی مدت 14 و 28 روز انبارمانی در دمای 10 درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش طول دوره انبارمانی کیفیت میوه‌ها کاهش یافت ولی تیمارها باعث جلوگیری از کاهش وزن، حفظ سفتی، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون، نسبت قند به اسید، اسید آسکوربیک، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نسبت به شاهد شدند. همچنین در بیشتر موارد بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید، ولی میوه‌ها در تیمار سلوفان دارای آلودگی قارچی بیشتر (6/27 درصد) و میزان بازارپسندی (3/88 درصد)، محتوای کاتالاز ($21/81\ U.g^{-1}$) و پراکسیداز ($0/167\ U.g^{-1}$) کمتری نسبت به سایر تیمارها بودند هرچند در مقایسه با شاهد فاقد اختلاف معنی‌داری بودند. به‌طور کلی در بیشتر موارد استفاده توأم سلوفان و کیتوزان بهتر از سایر تیمارها خواص کیفی و بیوشیمیایی فلفل دلمه‌ای را حفظ نمود. لذا استفاده از این تیمار در فرایند پس از برداشت فلفل دلمه‌ای توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پس از برداشت، پوسیدگی میوه، کالیفرنیا واندر، کیفیت، نرم شدن میوه.

مقدمه

فلفل دلمه‌ای با نام علمی *Capsicum annuum* L. از خانواده Solanaceae می‌باشد (Daneshvar, 2009). از جمله مشکلات پس از برداشت فلفل دلمه‌ای می‌توان به نرم شدن و پلاسیدگی سریع، تغییر رنگ در طی انبارمانی، کاهش سفتی بافت، تغییرات کیفی در متابولیت‌های میوه و آلودگی‌های قارچی که باعث افزایش ضایعات و کاهش بازارپسندی این محصول در انبار می‌شود، اشاره نمود (Xing *et al.*, 2011) که این مشکلات باعث کاهش صادرات و جابه جایی این محصول و افزایش ضایعات آن در فرایند پس از برداشت می‌شود (Ramana *et al.*, 2011).

میوه‌ها و سبزیجات عموماً پس از برداشت بسیار سریع فاسد می‌شوند و عمر نگهداری آن‌ها بسیار کوتاه است. برخی مواد طبیعی و خوراکی که قابلیت تغییرات بیولوژیکی دارند، برای نگهداری مواد غذایی تازه مثل میوه‌ها و سبزیجات استفاده می‌شوند. یکی از این مواد پلیمر طبیعی کیتوزان است که علاوه بر خوراکی بودن دارای خاصیت ضدمیکروبی نیز می‌باشد (Shahidi *et al.*, 1999 and Bourtoom, 2008). کیتوزان یک پلی‌ساکارید کاتیونی است که از فرآیند استیل‌زدایی قلیایی کیتین به‌دست آمده و منابع عمده تولید آن دیواره سلولی قارچ‌ها و پوست خارجی سخت پوستان است (Shahidi *et al.*, 1999). در سال‌های اخیر به دلیل مزایا و کاربردهای زیاد کیتوزان در صنایع مختلف، مطالعات زیادی روی آن انجام شده است و معمولاً از کیتوزان برای افزایش عمر ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات نیز استفاده می‌شود (Bourtoom, 2008).

کیتوزان به دلیل خاصیت بازدارندگی بر رشد بسیاری از باکتری‌های بیماری‌زا و قارچ‌ها در فیلم‌های ضدمیکروبی و پوشش‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rabea Entsar *et al.*, 2003). همچنین کیتوزان به‌عنوان یک پوشش طبیعی از طریق حفاظت فیزیکی، مکانیکی و ممانعت‌کنندگی در مقابل نفوذ و انتقال رطوبت و گازها، باعث افزایش ماندگاری و بالا بردن ایمنی

1- دانشجوی دکتری، گروه گیاهان زینتی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
2- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
3- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
(* - نویسنده مسئول (Email: msaidi@ilam.ac.ir
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.56561

محصولات از جمله میوه‌ها می‌شود. کیتوزان در توت فرنگی، خیار و فلفل دلمه‌ای به‌عنوان یک پوشش ضدمیکروبی و در سیب، گلابی و هلو به‌عنوان یک پوشش جهت بستن روزنه‌های سطح میوه و کنترل گازهای تنفسی میوه مورد استفاده قرار گرفته است (Bourtoom, 2008).

اثر تیمار کیتوزان در میوه فلفل دلمه‌ای توسط زینگ و همکاران (2011) گزارش شد. آن‌ها بیان کردند که کیتوزان پوسیدگی و فساد را کاهش داد و اسید آسکوربیک، کلروفیل میوه، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را در طول 35 روز انبارمانی نسبت به شاهد در سطح بالاتری حفظ کرد (Xing *et al*., 2011). همچنین گزارشات دیگر نشان می‌دهد که کیتوزان باعث افزایش مقدار ترکیبات فنولیک در میوه‌های گوجه‌فرنگی (Liu *et al*., 2006)، کاهش سفتی، تغییر رنگ، شیوع آلودگی قارچی و جلوگیری از کاهش کیفیت در میوه‌های توت‌فرنگی (Hernandez Monoz *et al*., 2008)، خیار (Ben-shalom *et al*., 2003) و انگور (Mostofi *et al*., 2011) شده است.

رطوبت بالا در انواع محصولات باغی باعث فسادپذیری بیشتر و کاهش انبارمانی آن‌ها می‌شود، که برای کاهش ضایعات و حفظ کیفیت محصول علاوه بر کاهش دمای انبار، توجه به بسته‌بندی ضروری می‌باشد (Ashornejad & Ghasemnejad, 2012). به‌کارگیری پوشش‌های پلاستیکی و تعدیل اتمسفر ظروف بسته‌بندی یکی از راه‌هایی است که از خرابی و پوسیدگی محصولات باغی جلوگیری می‌کند (Nyanjage *et al*., 2005). مهمترین فواید بسته‌بندی شامل کاهش تنفس، کاهش تولید اتیلن و حساسیت به آن، کُندشدن روند نرم شدن میوه و تغییر ترکیبات داخلی میوه است (Antonio *et al*., 1996). یکی از انواع مواد بسته‌بندی پوشش سلوفان است که امروزه برای افزایش عمر انباری بسیاری از محصولات استفاده می‌شود.

نتایج یک تحقیق نشان داد که پوشش سلوفان در هویج باعث جلوگیری از کاهش وزن زیاد و حفظ مواد جامد محلول و سفتی در طول 14 روز انبارمانی شد (Rashidi *et al*., 2009). در گزارش‌های مشابه اثر پوشش سلوفان بر کاهش افت وزن و حفظ اسید آسکوربیک، اسید قابل تیتر و سفتی بافت در میوه‌های پرتقال توسرخ (Ahmad *et al*., 1989) و کاهش افت وزن، تنفس و فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز و حفظ اسیدآسکوربیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های ازگیل ژاپنی (Ding *et al*., 2002 and Ashornejad & Ghasemnejad, 2012) مشاهده شده است. بنابراین به‌منظور کاهش ضایعات پس از برداشت فلفل دلمه‌ای، در این پژوهش اثر پوشش‌های کیتوزان و سلوفان طی 14 و 28 روز انبارمانی بر برخی خواص کیفی و بیوشیمیایی فلفل دلمه‌ای رقم "California wonder" در انبار مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

اعمال تیمارها

میوه‌های فلفل دلمه‌ای رقم کالیفرنیا واندر از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام در تابستان 1392، در مرحله بلوغ مناسب (بر اساس اندازه و سفت شدن بافت میوه با وزن تقریبی 175 گرم) برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد(شکل 1). تعداد 30 عدد میوه برای اندازه‌گیری شاخص‌ها در زمان برداشت در سه تکرار اختصاص یافت. تیمارها شامل شاهد (بدون هیچگونه پوشش)، کیتوزان یک درصد، سلوفان (به تنهایی) و کیتوزان یک درصد+ سلوفان (تیمار ترکیبی) بود. برای این کار ابتدا تمامی میوه‌ها در محلول هیپوکلریت سدیم 0/1 درصد غوطه‌ور و سپس توسط آب مقطر شستشو داده شدند. پس از خشک شدن، میوه‌های تیمار کیتوزان و شاهد به‌ترتیب در داخل کیتوزان 1 درصد و آب به مدت دو دقیقه غوطه‌ور شدند (شکل 2) و پس از خشک شدن در دمای آزمایشگاه در داخل سبد پلاستیکی بدون هیچگونه پوششی قرار گرفتند (Kyu Kyu Win *et al*., 2007). تیمار سلوفان نیز به این صورت اعمال گردید که میوه‌ها پس از قرار گرفتن در داخل سبدهای پلاستیکی میوه توسط پوشش سلوفان تجاری رایج در بازار پوشش داده شدند، به‌طوری که کمترین تبادلات گازی و رطوبتی با محیط داشته باشند (شکل 2).

شکل 1- مراحل آماده سازی میوه فلفل دلمه‌ای جهت انجام آزمایش

تیمار سلوفان   تیمار کیتوزان

شکل 2- اعمال تیمارهای سلوفان و کیتوزان برای بررسی برخی خواص کیفی و بیوشیمیایی فلفل دلمه‌ای در انبار

تعداد میوه موجود در هر واحد آزمایش 10 عدد بود که در انبار 10 درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی 90-85 درصد نگهداری شدند. میوه‌ها پس از 14 و 28 روز از انبار خارج شده و به مدت 48 ساعت در دمای معمولی (25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 60-50 درصد) و مشابه شرایط خرده‌فروشی این محصول در بازار نگهداری شدند، سپس شاخص‌های کیفی و بیوشیمیایی میوه ارزیابی شد.

صفات مورد ارزیابی

کاهش وزن میوه‌ها به‌صورت اختلاف وزن میوه‌ها قبل از انبارمانی و پس از پایان انبارمانی برحسب درصد به‌وسیله ترازوی دیجیتال دنور[1] با دقت 0/01گرم (مدل N0510066) محاسبه گردید. شدت پوسیدگی قارچی میوه‌ها به‌صورت مشاهده‌ای و در محدوده صفر تا چهار نمره دهی شد (Nyanjage *et al*., 2005). صفر بدون پوسیدگی قارچی و چهار بیشترین شدت پوسیدگی را شامل شد و پس از محاسبه در نهایت برحسب درصد گزارش گردید. بازارپسندی میوه‌ها نیز به‌صورت مشاهده‌ای و در محدوده یک تا چهار تعیین شد. مبنای کاهش بازارپسندی میزان تغییر رنگ، نقصان ظاهر میوه و میزان چروکیدگی بافت میوه در نظر گرفته شد. نمره یک به کمترین و نمره چهار به بیشترین بازارپسندی اختصاص یافت و در پایان برحسب درصد گزارش شد. سفتی بافت میوه توسط دستگاه سفتی‌سنج دستی FTP (مدلFT-011) با پرابی به قطر پنج ملی‌متر و بر حسب نیوتن بر مترمربع، مقدار مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دستی (مدل ATAGO, ATC-1e) در دمای اتاق و برحسب درجه بریکس، درصد اسیدیته قابل تیتر از طریق تیتراسیون عصاره میوه با سود 0/1 نرمال تا رسیدن به pH نهایی 8/2 و بر اساس غالبیت اسید سیتریک اندازه‌گیری شد (Shabani *et al*., 2011).

1 DENVER

برای اندازه‌گیری مقدار اسید آسکوربیک میوه از روش تیتراسیون با محلول دی‌کلرو فنل‌ایندوفنل استفاده شد (Ranganna, 1997). اندازه‌گیری فنل کل نیز به روش معرف فولین سیوکالتیو انجام گرفت. برای این منظور یک گرم بافت میوه به کمک نیتروژن مایع فریز و سپس توسط هاون پودر شد و 10 میلی‌لیتر متانول خالص برای استخراج ترکیبات فنلی برای مدت 5 دقیقه به آن اضافه شد. سپس عصاره‌ها در 10000 دور به مدت 20 دقیقه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شدند. پس از سانتریفوژ 125 میکرولیتر از محلول رویی با آب مقطر به حجم 500 میکرولیتر رسانیده شده و 2500 میکرولیتر معرف فولین و پس از گذشت پنج دقیقه 2000 میکرولیتر محلول کربنات سدیم اشباع نیز به آن اضافه شد. میزان جذب نمونه‌های حاصل پس از گذشت یک ساعت در طول موج 760 نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر سینکو[2] (مدل S-3100) قرائت شد و میزان فنل کل نمونه‌ها بر اساس استاندارد اسیدگالیک محاسبه گردید(Shabani *et al*., 2011).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بافت میوه از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH[3] تعیین گردید (Miliauskas *et al*., 2004). برای این منظور 0/2 گرم از بافت میوه به‌وسیله نیتروژن مایع در داخل هاون چینی پودر شد و سپس 10 میلی‌لیتر متانول خالص به آن اضافه شد و همگن گردید. عصاره حاصل در 10000 دور سانتریفوژ شد و سپس 10 میکرولیتر عصاره متانولی به 1900 میکرولیتر محلول DPPH اضافه شد و به مدت 30 دقیقه در تاریکی به‌منظور رسیدن محلول به حالت یکنواخت قرار گرفت. میزان جذب نمونه‌ها در 515 نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH براساس فرمول زیر محاسبه شد، که DPPHsc درصد بازدارندگی، A_{sam} میزان جذب (DPPH + نمونه)

2 Scinco
3 Diphenyl-2-Picrylhydrazyl

و A_{con} میزان جذب DPPH می‌باشد.

$$DPPHsc = (1-(A_{sam}/ A_{con})) \times 100 \quad (1)$$

برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، b و کل و مقدار کاروتنویید میوه، یک گرم از بافت میوه در پنج میلی‌لیتر استون 80 درصد در داخل هاون چینی همگن شده و پس از سانتریفوژ در 5000 دور به مدت ده دقیقه، جذب عصاره در طول موج‌های 470، 646 و 663 نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و محاسبات با استفاده از فرمول‌های زیر انجام شد (Xing *et al*., 2011).

(2) (12/25A663-2/79A646) =کلروفیلa (میلی‌گرم برلیتر)

(3) (21/50A646-5/10A663) = کلروفیلb (میلی‌گرم برلیتر)

(4) (کلروفیلb + کلروفیلa)=کلروفیل کل (میلی‌گرم برلیتر)

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با محاسبه کاهش جذب H_2O_2 در طول موج 240 نانومتر و سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از گایاکل و اندازه‌گیری میزان جذب تتراگایاکل تشکیل شده از گایاکل در نتیجه فعالیت پراکسیداز در طول موج 470 نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر به روش ذکر شده در زینگ و همکاران (2011) محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل(فاکتور اول تیمارها بودند که دارای چهار سطح: شاهد، سلوفان، کیتوزان یک درصد و سلوفان+ کیتوزان یک درصد و فاکتور دوم مدت انبارمانی شامل سه سطح: قبل از انبارمانی، 14 و 28 روز بود) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. داده‌ها پس از جمع‌آوری و بررسی نرمال بودن توسط نرم‌افزار آماری SAS (نسخه 9/2) تجزیه شده و برای مقایسه اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری یک درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها و دوره انبارمانی برای تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار گردید، ولی اثر آن بر میزان کلروفیل بافت میوه معنی‌دار نبود. اثرات متقابل تیمار و دوره انبارمانی نیز برای صفاتی چون کاهش وزن، پوسیدگی قارچی، اسید قابل تیتر و فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار گردید (جدول 1).

جدول1- تجزیه واریانس اثر پوشش کیتوزان و سلوفان بر برخی خواص کیفی و بیوشیمیایی میوه‌های فلفل دلمه‌ای در انبار

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کاهش وزن	پوسیدگی قارچی	بازارپسندی	سفتی	موادجامد محلول	اسیدقابل تیتر	اسید/ قند	اسید آسکوربیک
تیمار	3	48/95**	30/80**	182/11*	0/11*	0/01**	0/009*	0/44*	38/05**
دوره انبارمانی	2	406/46**	449/19**	3083/50**	0/71**	1/04**	0/12**	4/40**	645/06**
تیمار× دوره انبارمانی	6	35/38**	20/89*	$75/17^{ns}$	$0/05^{ns}$	$0/005^{ns}$	0/01*	$0/46^{ns}$	$68/53^{ns}$
خطای آزمایش	24	6/78	5/80	58/27	0/02	0/07	0/005	0/19	69/22
ضریب تغییرات	-	14/86	16/74	8/64	5/41	4/95	6/55	9/17	10/13

ادامه جدول 1- تجزیه واریانس اثر پوشش کیتوزان و سلوفان بر برخی خواص کیفی و بیوشیمیایی فلفل دلمه‌ای در انبار

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	فنل کل	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	کاتالاز	پراکسیداز
تیمار	3	84/84**	5/76*	$2/49^{ns}$	$0/97^{ns}$	$6/54^{ns}$	$0/28^{ns}$	1/67*	0/0003*
دوره انبارمانی	2	267/03**	65/57**	$1/65^{ns}$	$0/46^{ns}$	$3/47^{ns}$	$0/60^{ns}$	509/85**	0/13**
تیمار×دوره انبارمانی	6	$33/67^{ns}$	$5/70^{ns}$	$1/44^{ns}$	$0/38^{ns}$	$3/20^{ns}$	$0/12^{ns}$	$1/43^{ns}$	0/0001*
خطای آزمایش	24	33/18	2/69	1/38	0/35	3/11	0/06	0/48	0/00006
ضریب تغییرات	-	12/83	5/53	15/75	16/60	15/91	14/79	12/30	8/94

* و ** معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد آزمون دانکن و ns عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

نتایج اثر تیمارهای آزمایشی بر کاهش وزن میوه‌های فلفل دلمه‌ای در انبار

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش طول دوره انبارمانی کیفیت میوه‌ها کاهش یافت ولی اعمال تیمارها باعث حفظ کیفیت میوه‌ها نسبت به شاهد شدند. نتایج نشان داد با افزایش مدت انبارمانی، کاهش وزن افزایش یافت ولی تیمارهای سلوفان و تیمار

ترکیبی (کیتوزان یک درصد+ سلوفان) باعث کاهش افت وزن میوه‌ها شدند، هرچند که بین تیمار کیتوزان 1 درصد و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید(جدول 2). افزایش در افت وزن می‌تواند ناشی از افزایش تعرق و تنفس میوه در طول انبارمانی باشد. همچنین مصرف ترکیبات کربوهیدراتی، اسیدها و قندها در طول انبارمانی نیز می‌تواند باعث کاهش وزن میوه‌ها شده باشد. ولی با این حال تیمارهای دارای پوشش سلوفان از کاهش وزن کمتری برخوردار بودند. به‌نظر می‌رسد تیمار سلوفان با ایجاد فضایی با رطوبت نسبی بالا و همچنین به دلیل کاهش تبادلات گازی بین میوه و محیط پیرامون و تعدیل اتمسفر داخلی فضای بسته‌بندی، باعث کنترل تنفس و کاهش شدت تعرق در میوه‌ها شده و کاهش وزن در این میوه‌ها را تعدیل نموده است. گزارش‌های مشابه برای هویج (Rashidi *et al*., 2009)، پرتقال (Ahmad *et al*., 1989) و ازگیل ژاپنی(Ding *et al*., 2002) نشان می‌دهد که کاهش سرعت تعرق و تنفس در میوه‌های بسته‌بندی شده با پوشش سلوفان بوسیله کنترل اتمسفر فضای بسته‌بندی و کاهش تنفس و تعرق باعث جلوگیری از کاهش وزن زیاد می‌شود.

نتایج اثر تیمارهای آزمایشی بر پوسیدگی قارچی و بازارپسندی میوه‌های فلفل دلمه‌ای در انبار

بیشترین میزان پوسیدگی‌قارچی(6/27 درصد) در تیمار سلوفان دیده شد در حالی‌که بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. همچنین بیشترین بازارپسندی مربوط به تیمار ترکیبی (93/61 درصد) و در رتبه دوم تیمار کیتوزان یک درصد (90/27 درصد) بود (جدول 2). باتوجه به نتایج به‌نظر می‌رسد که تیمار سلوفان با ایجاد یک فضای با رطوبت نسبی بالا شرایط را برای رشد عوامل بیماری‌زا فراهم می‌کند، ولی در تیمار ترکیبی (سلوفان + کیتوزان یک درصد) وجود پوشش ضدمیکروبی کیتوزان مانع از رشد عوامل پوسیدگی قارچی در این محیط اشباع از رطوبت شده است. کیتوزان یک ماده ضدمیکروبی است که خواص ضدمیکروبی وسیعی در مقابل باکتری‌های گرم مثبت و منفی و قارچها نشان می‌دهد (Kumar *et al*., 2005).در پژوهش‌های مشابه کنترل پوسیدگی قارچی در پس از برداشت و کاهش ضایعات میوه‌های فلفل دلمه‌ای (Xing *et al*., 2011) و گوجه‌فرنگی (Liu *et al*., 2006) به خاصیت ضدمیکروبی کیتوزان بر کنترل عوامل بیماری‌زا نسبت داده شده است.

سازوکار فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان هنوز به‌طور کامل مشخص نشده است ولی از جمله سازوکارهایی که ارایه شده است؛ برهمکنش میان بارهای مثبت کیتوزان و بارهای منفی روی غشاهای سلولی میکروبی است که با اتصال تجمعی در سطح غشای سلول‌های میکروبی باعث نشت ترکیبات پروتئینی و دیگر ترکیبات درون سلولی و در نهایت مرگ سلول میکروبی می‌شود (Fang *et al*., 1994). دیگر سازوکار پیشنهاد شده عبارت است از تعامل محصولات حاصل از آبکافت با DNA میکروبی و ممانعت از سنتز mRNA و پروتئین در عامل میکروبی که مانع از رشد و گسترش آن می‌شود (Hadwiger &Loschke, 1981). همچنین پوشش سلوفان با تغییر اتمسفر درونی و میزان اکسیژن و دی‌اکسیدکربن در اطراف میوه باعث کاهش تنفس می‌شود و رسیدن و فرایند پیری میوه را به تعویق می‌اندازد (Ashornejad & Ghasemnejad,2012).

با افزایش مدت انبارمانی میزان پوسیدگی قارچی افزایش و بازارپسندی میوه‌ها کاهش یافت. باتوجه به نتایج فوق، افزایش پوسیدگی قارچی در تیمار سلوفان باعث شد که این تیمار از نظر بازارپسندی نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشته باشد، ولی کاهش پوسیدگی قارچی توسط تیمار کیتوزان باعث شد که تیمار کیتوزان به تنهایی و هم در ترکیب با پوشش سلوفان از بازارپسندی بیشتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار باشد. اثر مثبت کیتوزان بر حفظ کیفیت و بازارپسندی بیشتر میوه‌ها و سبزیجاتی چون توت فرنگی، خیار، فلفل دلمه‌ای و سیب به اثر ضدمیکروبی کیتوزان و همچنین کنترل تنفس از طریق بستن روزنه‌های سطح میوه نسبت داده شده است (Bourtoom, 2008).

نتایج اثر تیمارهای آزمایشی بر سفتی بافت، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتر و نسبت قند به اسید میوه‌های فلفل دلمه‌ای در انبار

کمترین سفتی بافت با 2/97 نیوتن بر مترمربع مربوط به میوه‌های شاهد (بدون پوشش) بود در حالی‌که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. پس از 28 روز انبارمانی سفتی بافت میوه‌ها از 3/29 به 2/85 نیوتن بر مترمربع کاهش یافت. کمترین میزان مواد جامد محلول در تیمار ترکیبی(کیتوزان یک درصد+ سلوفان) دیده شد، ولی بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. همه تیمارهای آزمایشی باعث حفظ اسید قابل تیتراسیون شدند. همچنین اسید قابل تیتراسیون پس از 14 روز انبارمانی ابتدا افزایش یافت و پس از 28 روز انبارمانی کاهش یافت. کمترین نسبت قند به اسید مربوط به تیمار ترکیبی بود و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول2).

حفظ بهتر سفتی بافت توسط تیمارها می‌تواند به دلیل اثر بر کاهش افت وزن و حفظ بهتر تورژسانس سلولی باشد (Rao *et al*., 2011). نتایج نشان داد تیمارهایی که کاهش وزن بیشتری داشتند از مواد جامد محلول بیشتری نیز برخوردار بودند که این می‌تواند به دلیل کاهش آب میوه و تغلیظ این مواد در طی زمان انبارمانی میوه‌ها باشد (Mostofi *et al*., 2011). کاهش میزان اسید میوه بیانگر رسیدن و

زوال آن است که کاهش اسید قابل تیتر در میوه پس از 28 روز انبارمانی به مصرف آن در چرخه کربس ارتباط دارد، که با افزایش طول دوره انبارمانی اسیدها به‌عنوان یکی از ترکیبات ذخیره‌ای جهت تأمین انرژی مورد نیاز میوه در فرایند تنفس مصرف می‌گردند، ولی تیمارها در این آزمایش با ایجاد اتمسفر تغییر یافته در فضای بسته‌بندی میوه‌ها در انبار، اکسایش اسیدها را به تعویق انداختند (Chung & Passos, 1993 & Nyanjage et al., 2005). گزارش شده که ایجاد اتمسفر تغییریافته در فضای بسته‌بندی محصول، سرعت تنفس، رسیدن و فرایند پیری میوه را به تعویق می‌اندازند که این عوامل می‌تواند باعث حفظ ترکیبات داخلی میوه‌ها در زمان نگهداری در انبار شود (Chung & Passos, 1993 & Cong *et al.*, 2007). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مشابه نتایج محققین دیگر می‌باشد که گزارش کردند تیمار سلوفان باعث حفظ سفتی و مواد جامد محلول در هویج (Nyanjage *et al.*, 2005) اسید قابل تیتر و سفتی بیشتر و نسبت قند به اسید کمتر در پرتقال (Ahmad *et al.*, 1989) در طول زمان انبارمانی می‌شود. همچنین اثر بهبود بخش پوشش کیتوزان بر حفظ سفتی، اسیدقابل تیتر، مواد جامد محلول و نسبت قند به اسید در میوه‌های فلفل دلمه‌ای (Xing *et al.*, 2011)، توت‌فرنگی (Hernandez Monoz *et al.*, 2008)، خیار (Ben-shalom *et al.*, 2003) و انگور (Mostofi *et al.*, 2011) توسط محققین دیگر گزارش شده است.

جدول2- اثر تیمارهای آزمایشی بر کاهش وزن، پوسیدگی قارچی، بازارپسندی، سفتی بافت، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتر و نسبت قند به اسید میوه‌های فلفل دلمه‌ای در انبار

تیمار	کاهش وزن (٪)	پوسیدگی قارچی(٪)	بازارپسندی (%)	سفتی بافت (N/m²)	موادجامدمحلول (%)	اسیدقابل تیتر (%)	اسید/ قند
شاهد(بدون پوشش)	8/62^{a}*	3/69^{b}	85/27^{b}	2/97^{b}	5/46^{a}	1/08^{b}	5/16^{a}
کیتوزان یک درصد	7/77^{a}	1/77^{b}	90/27^{ab}	3/14^{a}	5/41^{ab}	1/12^{ab}	4/84^{ab}
سلوفان	4/63^{b}	6/27^{a}	83/88^{b}	3/16^{a}	5/41^{ab}	1/15^{a}	4/72^{ab}
کیتوزان یک درصد +سلوفان	3/85^{b}	3/61^{b}	93/61^{a}	3/24^{a}	5/37^{b}	1/15^{a}	4/67^{b}
قبل از انبارمانی	0^{c}	0^{b}	100^{a}	3/29^{a}	5/03^{b}	1/10^{b}	4/57^{b}
14 روز انبارمانی	7/13^{b}	0/62^{b}	94/79^{a}	3/25^{a}	5/50^{a}	1/24^{a}	4/43^{b}
28روز انبارمانی	11/53^{a}	10/89^{a}	70^{b}	2/85^{b}	5/71^{a}	1/04^{b}	5/54^{a}

*: میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

نتایج اثر تیمارهای آزمایشی بر اسیدآسکوربیک، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل میوه‌های فلفل دلمه‌ای در انبار

مقدار اسیدآسکوربیک در میوه‌ها پس از 28 روز انبارمانی کاهش یافت ولی تمامی تیمارها باعث حفظ اسیدآسکوربیک در میوه‌ها نسبت به شاهد شدند به‌طوری‌که کمترین میزان اسیدآسکوربیک در شاهد معادل 79/45 میلی‌گرم در 100 گرم بافت میوه بود. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طی انبارمانی کاهش یافت ولی تیمار ترکیبی (سلوفان+ کیتوزان) بهتر از سایر تیمارها باعث حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان آن در میوه‌های تیمار ترکیبی و شاهد معادل 41/08 و 49/20 درصد بود. فنل کل نیز ابتدا پس از 14 روز انبارمانی افزایش و سپس کاهش یافت ولی تیمار ترکیبی و شاهد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان فنل کل بودند. اسیدآسکوربیک یکی از مهمترین ترکیبات میوه‌ها و سبزیجات می‌باشد که در برابر اکسید شدن بسیار حساس است. این ترکیب به همراه سایر ترکیبات مانند فنل‌ها ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه را تشکیل می‌دهند که حفظ این ترکیبات باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌ها می‌شود (Akhtar *et al.*, 2010). پوشش نیمه تراوای کیتوزان و همچنین فیلم سلوفان اتمسفر درونی میوه را تغییر داده و میزان اکسیژن را کم و دی‌اکسید کربن اطراف میوه را افزایش می‌دهند (Lerdthanangkul & Krochta, 1996) که کاهش تبادلات گازی محصول با محیط اطراف، از جمله کاهش اکسیژن ورودی به میوه منجر به کاهش اکسیداسیون اسیدها، فنل‌ها و سایر ترکیبات مانند اسیدآسکوربیک می‌گردد (Xing *et al.*, 2011). بنابراین حفظ بهتر ترکیبات فنلی، اسیدآسکوربیک و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه در اثر تیمارهای کیتوزان و سلوفان به کاهش اکسیداسیون سلولی مرتبط می‌باشد. مشابه نتایج این پژوهش گزارش شده است که تیمار کیتوزان منجر به حفظ اسیدآسکوربیک و ترکیبات فنولیک در میوه‌های گوجه‌فرنگی و فلفل دلمه‌ای در انبار می‌گردد (Liu *et al.*, 2006 & Xing *et al.*, 2011). همچنین نتایج محققین دیگر نشان می‌دهد که تیمار سلوفان با ایجاد فضایی با اتمسفر تعدیل یافته در اطراف میوه و کاهش تنفس

و تعرق میوه، باعث حفظ اسیدآسکوربیک و افـزایش ظرفیـت آنتـی-اکسـیدانی و سـایر خصوصـیات کیفـی در میـوه ازگیـل ژاپنـی (Ashornejad & Ghasemnejad, (2012 و پرتقـال (Ahmad *et al.*, 1989) در طول زمان انبارمانی می‌شود.

نتایج اثر تیمارهای آزمایشی بر فعالیت آنزیم‌هـای کاتـالاز و پراکسیداز میوه‌های فلفل دلمه‌ای در انبار

مقدار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز با افـزایش انبارمـانی کاهش یافت، ولی تیمارهای کیتوزان یک درصد و ترکیبی باعث حفظ این آنزیم‌ها در طی انبارمانی شد (جدول3). در شرایط تنش در گیـاه به‌طور طبیعی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله آنـزیم‌هـای کاتـالاز و پراکسیداز افزایش می‌یابد. ایـن ترکیبـات آنتـی‌اکسـیدانی بـا حـذف رادیکال‌های آزاد موجب جلوگیری از خسارت به بافـت‌هـای گیـاهی می‌شـوند (Jayaprakasha *et al*., 2007 & Xu *et al*., 2009). بـا قطع ارتباط بافت میوه با گیاه مادری و افزایش تـنش در طـول دوره انبارمانی، میزان مواد ذخیره‌ای و پیش‌ماده‌هـای آنتـی‌اکسـیدانی نیـز کاهش می‌یابد، در نتیجه محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسـیدانی و سـایر ترکیبات در بافت میوه همانند پژوهش حاضر در طول دوره انبارمانی نسبت به زمان قبل از انبارمانی کاهش می‌یابد. در این پژوهش همانند نتایج Ding و همکاران (2002) برای میوه ازگیل ژاپنی و همچنین Xing و همکـاران (2011) بـرای میـوه فلفـل دلمـه‌ای، تیمارهـای آزمایشی باعث کاهش تنش وارد شده به میوه در طول مدت انبارمانی شدند و باعث حفظ بیشتر آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و سـایر ترکیبـات آنتـی‌اکسـیدانی از جملـه اسیدآسـکوربیک، فنـل کـل و ظرفیـت آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد در طول دوره انبارمانی شدند (Xing *et al*., 2011 & Ding *et al*., 2002).

جدول3- اثر تیمارهای آزمایشی بر اسیدآسکوربیک، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز میوه‌های فلفل دلمه‌ای در انبار

تیمار	اسیدآسکوربیک(mg/100gr)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی(%)	فنل کل(mg/100gr)	کاتالاز (U. g-1)	پراکسیداز (U. g-1)
شاهد (بدون پوشش)	79/45b*	41/08c	28/62b	22/44ab	0/164b
کیتوزان یک درصد	83/29a	44/75b	29/63ab	22/34ab	0/172ab
سلوفان	81/52ab	43/53b	29/81ab	21/81b	0/167b
کیتوزان یک درصد+ سلوفان	84/08a	49/20a	30/56a	22/86a	0/177a
در زمان برداشت	85/04a	49/93a	30/16b	26/18a	0/28a
14 روز انبارمانی	85/48a	44/16b	31/70a	26/08a	0/12b
28روز انبارمانی	73/74b	40/58b	27/10c	14/84b	0/09c

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاضر مشـخص شـد کـه اسـتفاده از تیمارهـای سلوفان و کیتوزان باعث حفظ کیفیت میـوه فلفـل دلمـه‌ای در انبـار می‌شود، ولی به دلیل رطوبت بالای انبار و همچنین ایجاد فضایی بـا رطوبت اشباع در تیمار سلوفان میزان آلودگی‌های قارچی در این تیمار افزایش می‌یابد هرچند در تیمـار ترکیبـی (سـلوفان+ کیتـوزان یـک درصد) وجود کیتـوزان بـه‌عنـوان یـک ترکیـب ضـدمیکروبی باعـث جلوگیری از ایجاد آلودگی‌های قارچی در فضای بسته‌بندی گردید. لذا توصیه می‌شود هنگـام اسـتفاده از پوشـش سـلوفان رطوبـت انبـار را کاهش داده یا از مواد ضد میکروبی همانند کیتوزان استفاده گردد.

منابع

Ahmad, M., Shah, Z., Durrani, J., Chaudhry, M. A. & Khan, E., 1989, Effect of film packaging physicochemical characteristics of blood red oranges during storage at room conditions, *Journal of Pak. Agric. Res.*, 10:66-73

Akhtar, A., Abbasi, N. A. & Hussain, A., 2010, Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage, *Journal of Pak. Bot.*, 42:181-188.

Antonio, P., Salvator, D., Agabbio, S. & Giovanni, C.,1996, Effect of packaging and coating on fruit quality changes of loquat during three cold storage regimes, *Journal of Hort. Sci*., 10(3): 120-125.

Ashornejad, M. & Ghasemnejad, M., 2012, Effect of packaging with cellophane and cold storage on quality and shelf life of Japanese Medlar fruit, *Iranian Journal of Nutr. Sci. & Food Technol*., 7(2):95-375.

Ben-shalom, N., Ardi, R., Po, R., Aki, C. & Falik, E., 2003, Controlling gray mould caused by Botrytis cinerea in

cucumber plants by means of chitosan, *Journal of Crop Prot.*, 22: 285-290.

Bourtoom, T., 2008, Edible films and coatings: characteristics and properties, *Int. Food Res. Journal*, 15(3): 237-248.

Chung, H. D., Cheour, F. & Passos, A., 1993, Effect of foliar application of calcium chloride on shelf life and quality of strawberry fruits, *Journal of Hort. Sci*., 34(1):7-15.

Cong, F., Zhang, Y. & Dong, W., 2007, Use of surface coatings with natamycin to improve the storability of Hami melon at ambient temperature, *Journal of Postharvest Biol. and Technol*., 46: 71-75.

Daneshvar, M. H.,2009, Vegetables Growing. Shahid Chamran Uni. Press, 462p. (In Persian).

Ding, C. K., Chachin, K., Ueda, Y., Imahori, Y. & Wang, C. Y., 2002, Modified atmosphere packaging maintains postharvest quality of loquat fruit, *Journal of Postharvest Biol. and Technol*, 24:341-348.

Fang, S. W., Li, C. F. & Shih, D. Y. C., 1994, Antifungal activity of chitosan and its preservative effect on low-sugar candied Kumquat. *Food Protect*., 54: 136-140.

Hadwiger, L. & Loschke, D., 1981, Molecular communication in host-parasite interaction: hexosamin polymera (chitosan) as regulator compounds in race specific and other interaction. *Phytopathology*, 71: 756-762.

Hernandez Monoz, P., Almenar, E., Delvalle, V., Velez, D. & Gavara, D., 2008, Effect on chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry quality during refrigerated storage, *Journal of Food Chem*., 110:428- 435.

Jayaprakasha, G. K., Negi, P. S., Jena, B. S. & Rao, L. J. M., 2007, Antioxidant and antimutagenic activities of Cinnamomum zeylanicum fruit extracts, *Journal of Food Comp. and Anal*., 20:330–336.

Kumar, A. V. B., Varadaraj, M. C., Gowda, L. R. & Tharanathan, R. N., 2005, Characterization of Chito-oligosaccharides prepared by chitosanolysis with the aid of papain and pronase, and their bactericidal action against Bacillus cereus and Escherichia coli, *Journal of Bioche*., 391:167-175.

KyuKyuWin, N., Jitareerat, P., Kanlayanarata, S. & Sangchote, S. 2007. Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit. *Journal of Postharvest Biol. Technol*., 45: 333-340.

Lerdthanangkul, S. & Krochta, J. M., 1996, Edible coating effects on postharvest quality of green Bell peppers, *Journal of Food Scie.*, 61: 176-179.

Liu, J., Tian, S., Meng, X. & Xu, Y., 2006, Effect of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit, *Journal of Postharvest Biol. and Technol*., 44:300-306.

Miliauskas, G., Venskutonis, P. R. & Van Beek, T. A., 2004, Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts, *Journal of Food Chem*., 85: 231-237.

Mostofi, Y., Dehestani Ardakani, M. & Razavi, S. H., 2011, The effect of chitosan on postharvest life extension and qualitative characteristics of table grape “Shahroodi”, *Iranian Journal of Sci. and Technol*., 8: 93-102.

Nyanjage, M.O., Nyalala, S. P. O., Illa, A. O., Mugo B, W., Limbe, A. E. & Valimu, E. M., 2005, Extending post-harvest life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L. “*California Wonder*”) with modified atmosphere packaging and storage temperature, *Journal of Agri. Trop. et Subtrop*., 38: 28-34.

Rabea Entsar, I., Badawy Mohamed, E. T., Christian, V., Guy, S. & Steurbaut, W, 2003, Chitosan as antimicrobial agent: application and mode of action, *Journal of Biomacromolecules*, 4:1457-1465.

Ramana, T.V.R., Neeta, B.G. & Khlana, K. S., 2011, Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), *Journal of Scientia Hort*., 132:18-26.

Ranganna, S., 1997, Manual of analysis of fruit and vegetable products, Tata McGraw Hill Publishing Company, New *Delhi*, India, PP:80-82.

Rao, T. V. R., Gol N B & Shah, K. K., 2011, Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), *Journal of Scientia Hort*, 132:18-26.

Rashidi, M., Hosseini Bahri, M. & Abbassi, S., 2009, Effects of relative humidity, coating methods and storage periods on some qualitative characteristics of carrot during cold storage, *Journal of American-Eurasian Agric. Environ. Sci*., 5 (3):359-367.

Sakaldas,M. & Kaynas, K. 2010. Biochemical and quality parameters changes of green sweet bell peppers as affected by different postharvest treatments. *Afr. J. Biotechnol*., 9: 8174-8181.

Shabani, T., Peyvast, Gh. & Olfati, J., 2011, Effect of substrates on quantitative and qualitative characteristics of three varieties of sweet pepper in soilless culture, *Iranian Journal of Greenhouse Culture Sci. and Technol*., 25(4): 369-375.

Shahidi, F., Archchi, J. K. & You-Jin, J., 1999, Food application of chitin and chitosan, *Journal of Food Sci. and Technol.*, 10:37-71.

Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y. & Tang, Y., 2011, Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), *Journal of Food Chem*. 124:1443-1450.

Xu, W. T., Peng, X., Luo, Y. B., Wang, J., Guo, X. & Huang, K. L., 2009, Physiological and biochemical responses of grape fruit seed extract dip on ‘Redglobe’ grape, *Journal of LWT-Food Sci. and Technol*., 42:471–476.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 720-729

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 729-720

Effect of Cellophane and Chitosan Coatings on Qualitative and Biochemical Characteristics of Sweet Pepper, Cultivar "California wonder" during Storage

M. Mohammadi[1], M. Saidi *[2], O.Khademi [3]

Received: 2016.05.24
Accepted: 2016.10.22

Introduction: Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) from Solanaceae family is one of the most important vegetables which are fruit pods on the capsicum plant grown for their sweet fruits and delicate peppery flavor they extend to the recipes. Sweet pepper contains an impressive list of plant nutrients that found to have disease preventing and health promoting properties. Unlike in other fellow chili peppers, it has very less calories and fats. 100 g provides just 31 calories. Because of their versatility, low calories, intense flavor and high concentration of vitamins, sweet peppers are a great snack raw and an easy addition to many different recipes.In recent years extending shelf-life of this perishable vegetable has been accomplished (Banaras *et al.*, 2005). The losses in vegetable quality and quantity between harvest and consumption affect the crop productivity. It is estimated that the magnitude of the postharvest losses of fresh horticultural crops is from 5 to 25% in developed countries and of 20 to 50% in developing countries. Fresh peppers are often eaten raw and supplied pre-cut to manufacturers as ready-to-use ingredients. However, the main problems limiting their shelf life occur by shriveling, decay development on the cut surface, as well as degreening of the vegetable among different degraded quality characteristics (Sakaldas and Kaynas, 2010). Those problems are correlated to an undesirable loss of water during metabolism or diffusion through the skin and respiration. Temperature management is the most effective tool for extending the shelf life of fresh horticultural commodities. Nowadays, to reduce high losses and keeping product's quality, in addition to lowering temperature, coating and packing must be noticed. Therefore, in this study, dipping in chitosan solution and coatings by edible Chitosan was assayed to improve quality of sweet peppers storability during cold storage.

Materials and methods: Plant material and sample preparation: Green peppers obtained from a Research farm, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran were used in the present study. The fruits were sanitized with hyperchlorinated water (1 mL/L) and rinsed with tap water. Peppers were divided in random into different group for chitosan treatments. Treatments and storage condition: The green peppers were dipped for 2 min into a solution either 0% (control) or 1% (w/v) chitosan (Chitosan, 80-95% deacetylation degree, medium molecular weight). The coating solution was prepared by dispersing 0 and 10 g of chitosan powder into 1L of distilled water containing 1% (v/v) glacial acetic acid (Kyu Kyu Win et al., 2007) and final pH of the solution adjusted to pH 5.0. After being air dried for 2 hrs. at room Temperature, ten similar sizes fruits were placed in each plastic crate, tightly closed by cellophane films and stored at 10°C, 85-90% relative humidity to be later assessed for further analyses intended for 14 and 28 days. The control samples of ten untreated fruits per crate were kept unsealed under similar environmental conditions of temperature and relative humidity separately. The current study carried out as a factorial assay on the basis of a RCBD with three replications during 2013-2014 at Ilam University. The main factor was included of four treatments (control, Chitosan coating, Cellophane sealing and Chitosan coating + Cellophane sealing) and the sub factor was included of storage period duration (14 and 28 days). Data were subjected to ANOVA using SAS software version 9.2. Verification of significant differences was done using Duncan's Test at 5% probability level.

Results and Discussion: Results showed that fruits quality declines with long storage, but treatments with Cellophane and Chitosan decreased weight loss and kept firmness, TSS, titratable acidity, sugar/acid ratio, ascorbic acid, antioxidant activity, total phenol, and catalase and peroxidase enzymes better than control. Furthermore, for most of the traits no significant difference was observed between treatments, although cellophane coating recorded more fungal infection and lower marketability. Shelf life enhancement by Chitosan has been already reported on carrot, orange and Japanese Medlar (Rashidi *et al*., 2009, Ahmad *et al*., 1989 &

1. PhD Student, Department of Horticulture, College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
2. Associate Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
3- Assist. Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
(*Corresponding Author: msaidi@ilam.ac.ir)

Ding *et al*., 2002) through its antimicrobial activity (Xing *et al*., 2011) and suppressing respiration by blocking stomata. It has been reported that both edible and nonedible coverage (such as chitosan and cellophane) of fruits can provide a modified atmosphere surround them which results in decreasing the rate of their maturity and senesces. Taking overall quality into consideration, the best treatment was joint application of cellophane and chitosan. That treatment appears to be an effective method for improving the postharvest quality of peppers which could more effectively preserved quality and biochemical characteristics. These fruits remained hydrated, green and had good visual appearance after storage. The low rate of respiration of these fruits may also account for the retention of pepper quality.

Key words: Post harvest, Fruit rot, California Wander, Quality, Fruit softening.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 730-743

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 743-730

پیش‌بینی تغییرات برخی از ویژگی‌های کیفی آب توت سیاه (*Morus alba Var nigra* L.) طی مراحل مختلف رسیدگی بر اساس آنالیز فرکتال و بینایی ماشین

مریم سلطانی کاظمی[1]- سامان آبدانان مهدی‌زاده[2*]- مختار حیدری[3]- سید مجتبی فارغ[4]

تاریخ دریافت: 1395/04/20
تاریخ پذیرش: 1395/09/22

چکیده

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی کیفیت آب توت سیاه طی مراحل مختلف رسیدگی، پارامترهای فرکتالی استخراج شده توسط آنالیز فرکتال و پارامترهای بیوشیمیایی (TSS، ویتامین ث، اسیدیته، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) به‌ترتیب به‌عنوان ویژگی‌های غیرمخرب و مخرب مورد استفاده قرار گرفتند؛ سپس از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و نزدیکترین همسایه (k-NN) به‌منظور توسعه مدل پیشگو و طبقه‌بندی داده‌ها استفاده گردید. از میان پنج ویژگی استخراج شده از آنالیز فرکتال؛ Y و S که به‌ترتیب مربوط به بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال می‌باشند، به‌عنوان موثرترین ویژگی در فرآیند آموزش شبکه عصبی و طبقه‌بند k-NN مورد استفاده قرار گرفتند. الگوریتم طبقه‌بند k-NN تغییرات رنگ در هر چهار مرحله رسیدگی را با دقت 97/08 طبقه‌بندی نمود. همچنین شبکه عصبی آنتوسیانین را با مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) 0/141، ضریب همبستگی 0/99، مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای را با RMSE=0/0016 ، ضریب همبستگی 0/97، فنول را با RMSE=1590/879، ضریب همبستگی 0/8057، TSS را با RMSE=0/0040، ضریب همبستگی 0/907، اسیدیته را با RMSE=3/50، ضریب همبستگی 0/986، ویتامین ث را با RMSE=0/285، ضریب همبستگی 0/878 وpH را با RMSE=0/00017 و ضریب همبستگی 0/99 پیش‌بینی نمود. بنابراین، نتایج این بررسی نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی و طبقه‌بند k-NN با آنالیز فرکتال می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب در ارزیابی برخط پارامترهای کیفی آب توت سیاه طی مراحل رسیدگی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، طبقه‌بندکننده نزدیکترین همسایگی، بعد فرکتال، پارامترهای بیوشیمیایی

مقدمه

میوه توت سیاه (*Morus alba Var nigra L.*) منبع غنی از رنگدانه‌های قرمز و آنتوسیانین می‌باشد. به‌علاوه این میوه به دلیل مواد موجود در آن دارای خواص دارویی مختلفی است که از آن جمله می‌توان به خاصیت ضد دیابتی (Asano *et al*., 2001)، ضد قندی (Andallu & Varadacharyulu, 2003)، ضد ویروسی (Du *et al*., 2003)، آنتی‌اکسیدانی (Kim *et al*., 1998)، ضد افسردگی (El-Beshbishy *et al*., 2006) و محافظ عصبی یا نرونی (Kang *et al*., 2006) آن اشاره کرد.

یکی از روش‌های ارزیابی غیرمخرب محصولات کشاورزی و غذایی، بینایی ماشین می‌باشد. بینایی ماشین به‌عنوان یک روش کم هزینه و سریع در ارائه اطلاعات دقیق مربوط به محصولات غذایی و کشاورزی بر بسیاری از روش‌های سنتی و وسایل اندازه‌گیری دستی برتری یافته است (Zheng, 2006). این روش در زمینه‌های مختلفی از جمله تشخیص و طبقه‌بندی کیفی گوجه فرنگی (Laykin *et al*., 2002)، نارنگی (Blasco *et al*., 2009) و زیتون (Diaz *et al*., 2000; Laykin *et al*., 2008)؛ همچنین به‌منظور پیش‌بینی ترکیبات شیمیایی در سیب‌زمینی (Thygesen *et al*, 2001)، و طبقه‌بندی مرحله رسیدگی موز (Mendoza & Aguilera, 2004) با موفقیت به‌کار برده شده است. اما با این حال سامانه بینایی ماشینی برای مدیریت کامل رنگ‌ها و بافت‌های متنوع موجود در بسیاری از تصاویر مواد غذایی توسعه نیافته است. آنچه در دنیای امروز مورد توجه می‌باشد؛ این است که بتوان با یک برنامه کامپیوتری ساده و کاربردی بسیاری از ویژگی‌های مربوط به این تصاویر کاملا پیچیده را تشخیص داد.

با توجه به اینکه امروزه اندازه‌گیری کیفیت مواد مغذی در میوه‌ها به یک مساله مهم تبدیل شده است به‌نظر می‌رسد که پیش‌بینی پارامترهای کیفی مانند آنتوسیانین (Cemeroglu *et al*, 1994; Alighourchi & Barzegar, 2009)، ویتامین ث

---

1 و 2- به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد و استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
3- دانشیار، دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
4- استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
(* - نویسنده مسئول: Email: saman.abdanan@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.57415

(Burdurlu *et al*., 2006; Al-Zubaidy & Khalili, 2007) و فنول (Pace *et al*, 2013) بوسیله مدل‌های ریاضی اهمیت بسزایی داشته باشد. شایان ذکر است که تغییرات رنگ طی فرآیند رسیدگی نیز با استفاده از مدل‌های ریاضی قابل پیش‌بینی می‌باشد. یکی از این مدل‌ها، مدل فرکتالی است. فرکتال‌ها مجموعه‌ای از روابط ریاضی می‌باشند که توانایی مدلسازی بسیاری از فرآیندهای پیچیده هندسی و پدیدهای طبیعی را دارند (Mandelbrot, 1982). ساختار اولیه خود متشابه و نامنظم در طبیعت به‌عنوان فرکتال نامیده می‌شود. فرکتال ساختاری هندسی است متشکل از اجزایی که با بزرگ کردن هر جزء از شکل به نسبتی معین به‌دست آید. به‌عبارتی دیگر فرکتال ساختاری است که هر جزء از آن شکل با کل شکل همانند است. فرکتال‌ها اشکالی هستند که بر خلاف شکل‌های هندسی اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل‌ها اولاً کاملا نامنظم‌اند، ثانیاً میزان بی نظمی آنها در همه مقیاس‌ها یکسان است و جسم فرکتال از دور و نزدیک یکسان دیده می‌شود؛ به تعبیر دیگر خودمتشابه است. هندسه فرکتال در سال 1982 توسط Mandelbort به تحقیقات جهان معرفی گردید و در شاخه‌های مختلفی از علم شامل هندسه، آنالیز بافت، علم مواد، طبقه‌بندی گیاهان و تصویربرداری پزشکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Pandolfi *et al*., 2009; He *et al*., 2009). همچنین از این روش برای مطالعه ساختار مواد و خواص مکانیکی مواد غذایی استفاده شده است (Barrett *et al*., 1995). Quevedo و همکاران (2008) بافت استخراج شده از آنالیز طیفی فوریه تصاویر موز را توسط آنالیز فرکتال مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. روش پیشنهاد شده آنها به‌عنوان شاخصی در تشخیص لکه‌های قهوه‌های موز استفاده گردید. در سایر پژوهش‌ها ، ویژگی بافت تکه‌های ژامبون (Quevedo *et al*., 2016) و میزان آنزیم قهوه‌ای موجود در قارچ، گلابی و سیب توسط آنالیز فرکتال مورد بررسی قرار گرفته است (Mendoza *et al*., 2009). از دیگر کاربردهای این روش می‌توان به پیش‌بینی تغییرات پارامترهای شیمیایی آبمیوه بایبری[1] در طول دوره انبارمانی اشاره نمود (Zheng *et al*., 2011).

آنالیز فرکتالی، یک شاخه پرکاربرد برای مطالعه خصوصیات تصاویر/ اشیا می‌باشد (Welstead, 1999; Zhang, 2007). اگرچه در بیشتر این کاربردها، تشخیص بعد فرکتالی از اشیاء درون تصاویر تحت بررسی حائز اهمیت می‌باشد.

الگوریتم‌های طبقه‌بندی مختلفی برای حل مشکلات طبقه‌بندی پیشنهاد شده است، از جمله آنها می‌توان به تجزیه و تحلیل تفکیک خطی[2] (Kumar & Kaur, 2012) ، طبقه‌بندی بیز[3] (Domingos & Pazzani, 1997)، شبکه عصبی مصنوعی (Damiri & Slam, 2012)، نزدیک‌ترین همسایگی[4] (Guru *et al*, 2010)، و ماشین‌بردار پشتیبانی[5] (Auria & Moro, 2008) اشاره کرد. اخیرا بسیاری از محققان از الگوریتم‌های طبقه‌بندهای مختلفی از جمله نزدیکترین همسایه (k-NN) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) جهت طبقه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده نمودند (Langner, 2001)؛ در پژوهشی Seng & Mirisaee (2009) یک سامانه بینایی ماشین آموزش دیده با که الگوریتم k-NN به‌منظور دسته‌بندی میوه‌ها (سیب، لیمو ترش، توت فرنگی و موز) بر اساس سه پارامتر رنگ، شکل ظاهری و اندازه طراحی نمودند. بر اساس نتایج بدست آمده عملکرد این سامانه در تشخیص ویژگی‌های ذکر شده (رنگ، شکل ظاهای و اندازه) 90% گزارش گردید. بعلاوه، شبکه‌های عصبی مصنوعی یک روش غیرخطی شناخته شده‌ای است که می‌تواند یک مدل طبقه‌بندی شده قوی را فراهم کند (Lee *et al*., 2010). شبکه‌های عصبی یک روش آنالیز داده آماری چند متغیره است که اغلب احتمال پیش‌بینی و شناخت بالاتری نسبت به الگوهای دسته‌بندی آماری دارد. با الهام از سیستم عصبی بیولوژیکی، شبکه‌های عصبی مرکب از تعدادی عناصر است که بصورت موازی عمل می‌کنند. با تنظیم وزن‌ها (اطلاعات) بین عناصر، یک شبکه عصبی می‌تواند چندین عمل همچون پیش‌بینی، مفهوم سازی داده[6]، دسته‌بندی و ارتباط میان داده‌ها را انجام دهد (Hykin, 1994). شبکه عصبی مصنوعی به‌طور گسترده‌ای در انجام وظایف مربوط به کارهای اقتصادی (Kaastra & Boyd, 1996)، فیزیک (Fang & Wu, 2007)، مهندسی (Parlak *et al*., 2006)، زمین‌شناسی (Yuanyou *et al*., 1997)؛ و همچنین در بخش کشاورزی برای دسته‌بندی محصولات از جمله میوه کیوی بر اساس میزان سفتی (Ragni *et al*., 210)، رسیدگی هندوانه (Rizam *et al*., 2009)، شاخص رسیدگی زیتون (Furferi *et al*., 2010) و همچنین برای پیش‌بینی پارامترهای شیمیایی میوه بایبری در طول دوره انبارمانی (Zheng *et al*., 2011) و غیره بکار می‌رود.

هدف از این پژوهش ارزیابی فعالیت بیوشیمایی (TSS، ویتامین ث، اسیدیته، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) در طول دوره رسیدگی آب توت سیاه به‌صورت آنلاین با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین و آنالیز فرکتال می‌باشد. به‌منظور توسعه مدل پیشگو و طبقه‌بندی داده‌ها به ترتیب از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و نزدیکترین همسایه (k-NN) استفاده گردید.

---

1 Bayberry
2 Linear Discriminant Analysis
3 Bayes
4 k-Nearest Neighbors
5 Support Vector Machine
6 Conceptualization Data

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پارامترهای داخلی آب توت سیاه توسط روش‌های مخرب و غیرمخرب در زمان‌های مختلف رسیدگی میوه و همچنین ارتباط این پارامترها با کیفیت آب توت انجـام شـد. چهار مرحله رسیدگی (ST1-ST4) مطابق با رنگ انتخـاب شـد. در ضمن تعداد نمونه‌های بدست آمده بـرای هـر مرحلـه رسـیدگی 20 می‌باشد. نمونه‌های میوه از درختان توت سیاه رشد یافته در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامـین خوزسـتان واقـع در 36 کیلـومتری شمال شرقی اهواز برداشت گردید.

آزمون‌های غیرمخرب

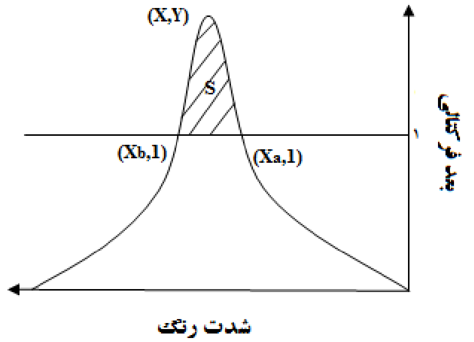
اخذ تصویر

ابتدا آبمیوه هر چهار مرحلـه تـوت، توسـط آبمیـوه‌گیـر خـانگی استخراج گردید، به‌منظور عکس‌برداری، آبمیوه موردنظر از هر مرحله در لوله استوانه‌ای شکل با قطر 2 سانتی‌متر از جنس شیشه (به دلیل شفاف بودن) قرار داده شد. تصاویر آبمیوه بدسـت آمـده بـا دوربـین دیجیتال CASIO (مدل Exilim EX-ZR700؛ 16 مگـا پیکسـل، ساخت کشـور ژاپـن) بـه‌منظـور انجـام مراحـل اسـتخراج و تعیـین مـوثرترین ویژگـی‌هـای رنگـی در تصـاویر اخـذ شـده و در رایانـه ذخیره‌سازی شدند. از دو لامپ فلورسنت با زاویه 45 درجه نسبت به افق در اطراف دوربین به‌عنوان سیسـتم روشـنایی و فـراهم نمـودن شرایط نوری یکسان استفاده گردد. دوربین در فاصله 25 سانتی‌متری به موازات نمونه قرار داده شد.

بعد فرکتال[1] (خودمتشابه)

اساس آنالیز فرکتال به شرح زیر می‌باشد: 1) عکـس‌هـای اخـذ شده از هر بطری آبمیوه به کانال‌های رنگی RGB تقسیم می‌شـود؛ 2) برای هر کانال بین مقدار 0 تا 255 عملیات آستانه‌گذاری انجـام می‌شود؛ 3) بعد فراکتـالی (D)[2] بـرای هـر کانـال رنگـی مشـخص می‌گردد (نحوه محاسبه آن در بخش بعد خواهد آمد)؛ 4) سپس طیف فرکتال، به‌عنوان یک تابع از وضعیت آستانه ارائه داده مـی‌شـود. در نهایت بعد طیف فرکتال به دو ناحیه بخـش فرکتـال و غیرفرکتـال تقسیم خواهد شد، پنج ویژگی فرکتالی (X_a, X_b, X, Y, S) مطابق شکل از آن استخراج می‌شود (شکل1).

1 Fractal Analysis
2 Fractal Dimension



شکل1- نمودار نمایش پنج ویژگی فراکتالی

محاسبه بعد فرکتالی

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری بعد فرکتال وجـود دارد. در ایـن پـژوهش از روش Addison (2005) بـه‌منظـور محاسـبه بعـد فرکتالی استفاده گردید. مطابق روش توصیه شده بـر روی تصـاویر آبمیوه از0 تا 255 آستانه‌گذاری صـورت گرفـت و بعـد فرکتـالی در تصاویر خود متشابه در هر آستانه با اسـتفاده از رابطـه (1) محاسـبه می‌گردد.

$$D = \frac{\log(N_r)}{\log(\frac{1}{r})} \quad (1)$$

بعد از محاسبه بعد فرکتالی برای همه زیر تصاویر و ترسیم آن بر حسب مقادیر مختلف r از منحنی ترسیم شده نسـبت بـه r مشـتق گرفته و شیب خط آن به‌عنوان بعـد فرکتـالی کـل تصـویر گـزارش می‌گردد. در این رابطه N_r تعداد زیر تصاویر تشکیل‌دهنده کل تصویر؛ r اندازه زیر تصاویر می‌باشد.

انتخاب موثرترین ویژگی

انتخاب ویژگی، یکی از مسائلی است کـه در مبحـث یـادگیری ماشین مطـرح اسـت. ایـن مسـاله در بسـیاری از کاربردهـا (ماننـد طبقه‌بندی) اهمیت بسزایی دارد، زیرا در این کاربردها تعـداد زیـادی ویژگی وجود دارد، که بسیاری از آنها یا بلااستفاده هستند و یا اینکه بار اطلاعاتی چندانی ندارند. حذف نکردن این ویژگی‌هـا مشـکلی از لحاظ اطلاعاتی ایجاد نمی‌کند ولی بار محاسباتی را برای کاربردهای برخط زیاد می‌کند. علاوه بر این باعث می‌شود که اطلاعات غیرمفید زیادی را به‌همراه داده‌های مفیـد ذخیـره شـود. بـه‌منظـور انتخـاب ویژگی، راه حل‌ها و الگوریتم‌های فراوانی ارائه شـده اسـت. در ایـن پژوهش از جستجو شناور[3] در انتخاب ویژگی اسـتفاده گردیـد. ایـن روش حالـت بهینـه الگـوریتم (l-r) مـی‌باشـد بـا ایـن تفـاوت کـه

3 Float Search

پارامترهای l و r شناور بوده و می‌بایست بهینه شوند .Pudil *et al*., (1994).

طبقه‌بندکننده نزدیکترین همسایگی (k-NN[1])

نزدیکترین همسایگی، یکی از ساده‌ترین دسته‌کننده‌ها به شمار می‌آید. دسته‌بندی در این روش بر اساس محاسبه فاصله داده‌های آزمون (داده‌های ورودی جدید)، با همه الگوها در داده‌های آموزش صورت می‌پذیرد؛ گروهی که در داده‌های آموزش کوتاه‌ترین فاصله را تا داده‌های آزمون داشته باشد به‌عنوان گروه داده‌های آزمون در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش از فاصله اقلیدسی بین دو نقطه به‌منظور تعیین فاصله میان الگوی ورودی جدید با الگوی آموزش استفاده گردید (رابطه 2).

$$d_E(p,q)=\sqrt{\sum_{i=1}^{R}(p_i-q_i)^2} \quad (2)$$

یک پارامتر مهم در روش k-NN تعیین مقدار k (تعداد همسایگی‌ها) می‌باشد که در این پژوهش از روش leave-one-out به‌منظور تعیین این پارامتر استفاده گردید (Mucherino *et al*., 2009). با توجه به محاسبات بهترین مقدار برای k سه بدست آمد.

شبکه عصبی (ANN)

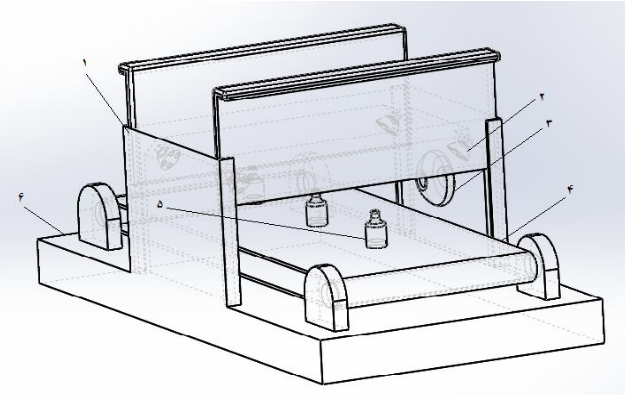
ساختار و عملکرد شبکه عصبی مصنوعی الهام گرفته از مغز انسان می‌باشد (Bila *et al*., 1999)، که از طریق یک روند آموزشی می‌توان روابط بین متغیرهای خروجی و ورودی را بدست آورد. مطابق با پژوهش‌های صورت گرفته شبکه عصبی با یک لایه پنهان برای تقریب هر تابع غیر خطی پیچیده کافی است (Dogan *et al*., 2008). از این رو در این مطالعه از یک ساختار شبکه پیش‌خور با یک لایه پنهان استفاده گردید. به‌منظور ارتباط میان لایه ورودی با لایه پنهان و لایه پنهان با خروجی به ترتیب از تابع تانژانت سیگموئید[2] و خطی استفاده گردید. در این پژوهش به‌منظور آموزش شبکه، از قاعده یادگیری لوومبرگ-مارکوت[3] استفاده شد. برای آموزش، ابتدا داده‌ها به‌طور تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند، به‌طوری‌که دو- سوم داده‌ها برای آموزش (60 عدد)، یک- سوم داده‌ها (20 عدد) برای آزمون شبکه انتخاب شدند. مقدار خطای متوسط آموزش برای شبکه تابع پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا و با ساختار مختلف مورد بررسی قرار گرفت تا الگوریتم مذکور انتخاب و بهینه‌سازی آن انجام پذیرفت. ورودی مدل پارامترهای فراکتال (X_a, X_b, X, Y, S) و خروجی آن (TSS، ویتامین ث، اسیدیته، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) می‌باشند. در این مطالعه، تعداد نرون در لایه‌های پنهان با استفاده از روش سعی و خطا بدست آمد. عملکرد مدل از طریق ضریب همبستگی (R) و مجذور میانگین مربعات خطا[4] (RMSE) محاسبه گردید.

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(k_E-k_P)^2}{N}} \quad (3)$$

k_E مقدار محاسبه شده از آزمایش، k_P مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و N تعداد کلی داده‌ها.

سامانه هوشمند به‌منظور استخراج پارامترهای داخلی آبمیوه توت سیاه به‌صورت آنلاین

بعد از انتخاب بهترین ویژگی استخراج شده از بخش پردازش تصویر که بالاترین ارتباط را با پارامترهای شیمیایی (کل مواد جامد محلول، اسیدیته، آنتوسیانین، فنول کل، ویتامین‌ث، pH) دارد، یک سیستم بینایی ماشین طراحی و ساخته شد که به‌صورت بی‌درنگ بتواند ویژگی‌های درونی آب توت سیاه را تعیین کند. شکل 2 شماتیک سامانه بینایی ماشین را نمایش می‌دهد.



شکل 2- شماتیک دستگاه 1 (اتاقک نورپردازی و تصویربرداری)، 2 (لامپ فلورسنت)، 3 (وبکم)، (تسمه نقاله)، 5 (نمونه آب‌میوه)، 6 (تخته شاسی)

سیستم تشخیص خودکار مورد نظر در این پژوهش شامل بخش مکانیکی و بخش پردازش تصویر می‌باشد. بخش مکانیکی شامل یک تخته نئوپان که تمام اجزای دستگاه بر روی آن قرار داده می‌شود، تسمه نقاله (به‌ترتیب با طول و عرض: 50 و 21 سانتی‌متر) و موتور (مدل Alsong، 12 ولت، تایوان) برای انجام حمل و نقل ظرف آبمیوه می‌باشد. همچنین در بخش پردازش تصویر از یک

---

1 k-Nearest Neighbors
2 Tangent Sigmoid Function
3 Leven Berg-Marguardt
4 Root Mean Square Error

وبکم (Logitech مدل C920، چین) و از 4 لامپ فلورسنت به‌منظور نورپردازی بهتر که با زاویه 45 درجه در درون یک اتاقک نصب شده‌اند، و از یک کامپیوتر برای اجرای برنامه پردازش تصویر (تقسیم‌بندی و استخراج ویژگی‌های درجه‌بندی) استفاده شد. سکوی تصویربرداری باید در شرایط نوری یکسانی قرار بگیرد تا تصویربرداری در شرایط ثابتی انجام پذیرد.

آزمون‌های مخرب

اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی میوه

جهت اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی میوه ابتدا عصاره میوه تهیه گردید. بدین ترتیب که میوه توسط یک آبمیوه‌گیر خانگی له شد، تفاله‌های موجود در آبمیوه توسط پارچه ململ جدا شد که آبمیوه در اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی استفاده می‌گردید.

اسیدیته کل قابل تیتراسیون[1]

برای اندازه‌گیری اسیدیته کل قابل تیتراسیون آبمیوه از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال و معرف فنول فتالئین استفاده شد. در این روش 5 میلی‌لیتر از آب میوه و 5 میلی‌لیتر آب مقطر درون بشر ریخته می‌شود و پس از اضافه نمودن 3 قطره معرف فنول فتالئین (یک درصد) تیتراسیون با هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال انجام می‌گردید تا رنگ بنفش ظاهر گردید. میزان سود مصرفی در رابطه 4 قرار داده شد و میزان اسیدیته کل قابل تیتراسیون براساس درصد محاسبه می‌گردید (Eksi & Turkman, 2011).

$$A = (S\ N\ F/C) \times 100 \qquad (4)$$

A= مقدار اسید در عصاره میوه (درصد)؛ F= فاکتور سود (ضریب نرمال) ؛ S= مقدار سود مصرفی (میلی‌لیتر)؛ N= نرمالیته سود؛ C= مقدار عصاره میوه (میلی‌لیتر)

کل مواد جامد محلول کل (TSS)

جهت تعیین میزان مواد جامد محلول آبمیوه، از دستگاه رفراکتومتر[2] دیجیتالی (مدل MA882- ساخت کشور ژاپن) استفاده شد.

pH

تعیین pH عصاره میوه با استفاده از pHسنج (P-755 قابل حمل، ژاپن) انجام شد. ابتدا pHمتر با استفاده از محلول بافر چهار و هفت تنظیم گردید سپس آبمیوه در بشر ریخته و الکترود pHمتر را در محلول قرار داده و پس از ثابت شدن عدد، pH آبمیوه یادداشت گردید.

آنتوسیانین کل[3] (AC) و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای در آبمیوه

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین و مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای از روش پیشنهادی Holcraft و همکاران (1998) استفاده گردید. در این روش آبمیوه تازه به نسبت (1:5) با آب مقطر رقیق می‌گردد و میزان جذب در طول موج‌های 510 و 446 نانومتر (به‌ترتیب طول موج مربوط به آنتوسیانین و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV- 2100، آمریکا) قرائت می‌شود. میزان آنتوسیانین و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای بر اساس واحد جذب[4] در میلی‌متر آب میوه رقیق نشده بیان می‌گردد.

(5) آنتوسیانین کل= میزان جذب در طول موج 510 نانومتر (A_{510}) × رقیق‌سازی (D.F)

اندازه‌گیری فنول کل[5] (TP)

جهت اندازه‌گیری فنول کل آبمیوه از روش Waterhouse (2002) استفاده شد. ابتدا نیم گرم از بافت گوشت میانی میوه با استفاده از 10 میلی‌لیتر متانول 80% در شرایط نور کم، عصاره‌گیری گردید. سپس عصاره به مدت 5 دقیقه در دمای 4+ درجه سلسیوس در 3000 دور سانتریفوژ شد. نهایتا 30 میکرولیتر عصاره با 150 میکرولیتر معرف فنول و 2370 میکرولیتر آب مقطر مخلوط شده و سپس 450 میکرولیتر کربنات سدیم (20%) به محلول اضافه گردید تا رنگ محلول به رنگ آبی تیره تبدیل شود. نمونه‌ها به مدت دو ساعت در دمای 20+ درجه سلسیوس نگهداری شدند سپس میزان جذب در طول موج 765 نانومتر اندازه‌گیری گردید. نمونه شاهد حاوی معرف فنول، آب مقطر و کربنات سدیم بدون عصاره بود. میزان فنول با استفاده از استاندارد اسید گالیک محاسبه شد.

اندازه‌گیری ویتامین ث

اندازه‌گیری ویتامین‌ث به روش تیتراسیون با سولفات مس براساس روش پیشنهادیBarakat (1973) انجام گردید. در روش پیشنهاد شده به 5 میلی‌لیتر از آبمیوه 10 میلی‌لیتر یدورپتاسیم 5% اضافه گردید. سپس 3 قطره محلول نشاسته 1% اضافه و در ادامه محلول سولفات مس 1% مولار در بورت ریخته می‌شود و تیتراسیون تا ظهور اولین علائم رنگ قرمز جگری ثابت، ادامه می‌یابد. حجم سولفات مس مصرفی یادداشت و با استفاده از رابطه ذیل میزان

1 Total Titratable Acidity
2 Refractometer
3 Anthocyanin Content
4 Absorbance Unit
5 Total Phenolics

ویتامین ث محاسبه می‌شود.

ویتامین ث= 0/88 × حجم سولفات مس مصرفی (6)

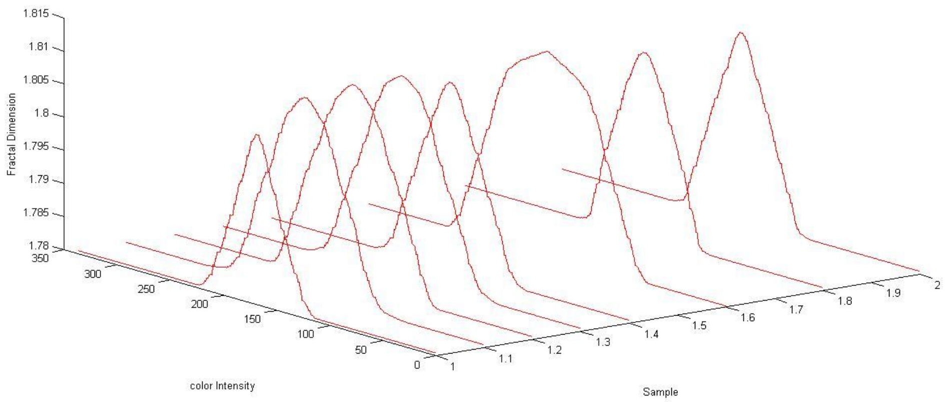
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

پردازش، تجزیه‌وتحلیل طیف‌های بدست آمده از آزمون غیرمخرب در نرم‌افزارهای Excel و MATLAB R2013a صورت گرفت. همچنین محاسبات آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.3 انجام شد.

نتایج و بحث

مراحل تغییرات رنگ آبمیوه در طول مراحل مختلف رسیدگی در شکل4 نشان داده شده است. همانطور که در شکل 4 آمده است رنگ آب توت سیاه در خلال رسیدگی از روشنی به تیرگی متمایل می‌باشد. شایان ذکر است که آنالیز فرکتال بر هر 3 کانال رنگی RGB اعمال گردید. اما از آنجایی که تغییرات در دو کانال G و B در مراحل رسیدگی با بررسی‌های صورت گرفته بوسیله آنالیز فرکتال امکان پذیر نبود؛ لذا تنها کانال R بوسیله این آنالیز مورد بررسی قرار گرفت و ویژگی‌های یاد شده (X_a, X_b, X, Y, S) استخراج شدند. شکل 5 بعد فرکتالی استخراج شده از تصاویر آبمیوه (8 نمونه) از مرحله 2 رسیدگی را برای کانال R نمایش می‌دهد.

شکل4- مراحل تغییرات رنگ آبمیوه توت سیاه در طول مراحل مختلف رسیدگی



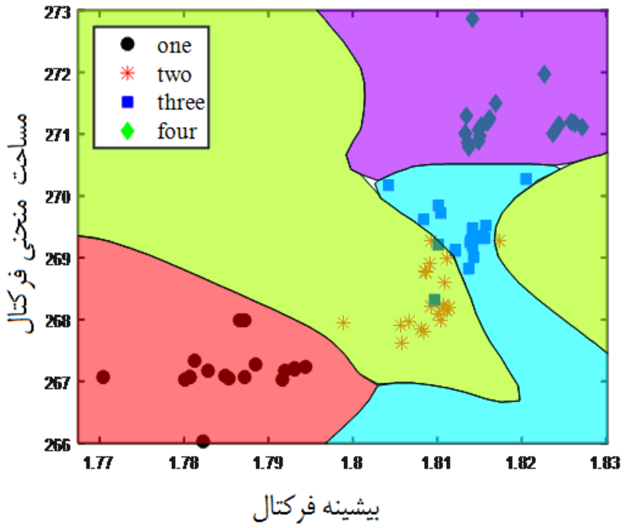
شکل5-نمودار بعد فرکتالی برای کانال رنگ قرمز

انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی داده‌ها

مطابق نتایج انتخاب ویژگی جستجو شناور از میان پنج ویژگی استخراج شده از روش فرکتال (X_a, X_b, X, Y, S)، Y و S که به‌ترتیب مربوط به بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال می‌باشند، به‌عنوان موثرترین ویژگی در فرآیند آموزش شبکه عصبی و طبقه‌بند k-NN مورد استفاده قرار گرفتند.

همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است مرزبندی میان گروه‌ها توسط دو ویژگی بیشینه فرکتال و مساحت منحنی

فرکتال با موفقیت صورت گرفته است (خطوط سیاه و نـواحی رنگی) و تنها یک اشتباه آشکار و مرزی در گروه سوم رسیدگی (مربع) وجود دارد. هر دو ایـن اشـتباهات در گـروه دوم و سـوم رسیدگی رخ داده است که می‌تواند به دلیـل نزدیکـی تغییـرات رنگ در این گروه باشد. مطابق شکل 6 هر دو اشـتباه صـورت گرفته به گروه رسیدگی دوم اختصاص یافته است. از طرف دیگر هیچ‌گونه خطایی میان مراحل اول و چهارم رسیدگی وجود ندارد که نشان از دقت بالا در طبقه‌بندی داده‌ها دارد.



شکل 6- عملکرد طبقه‌بند آموزش‌دیده با دو ویژگی‌های بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال

جدول 1- ماتریس درهم‌ریختگی دو ویژگی‌های بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال

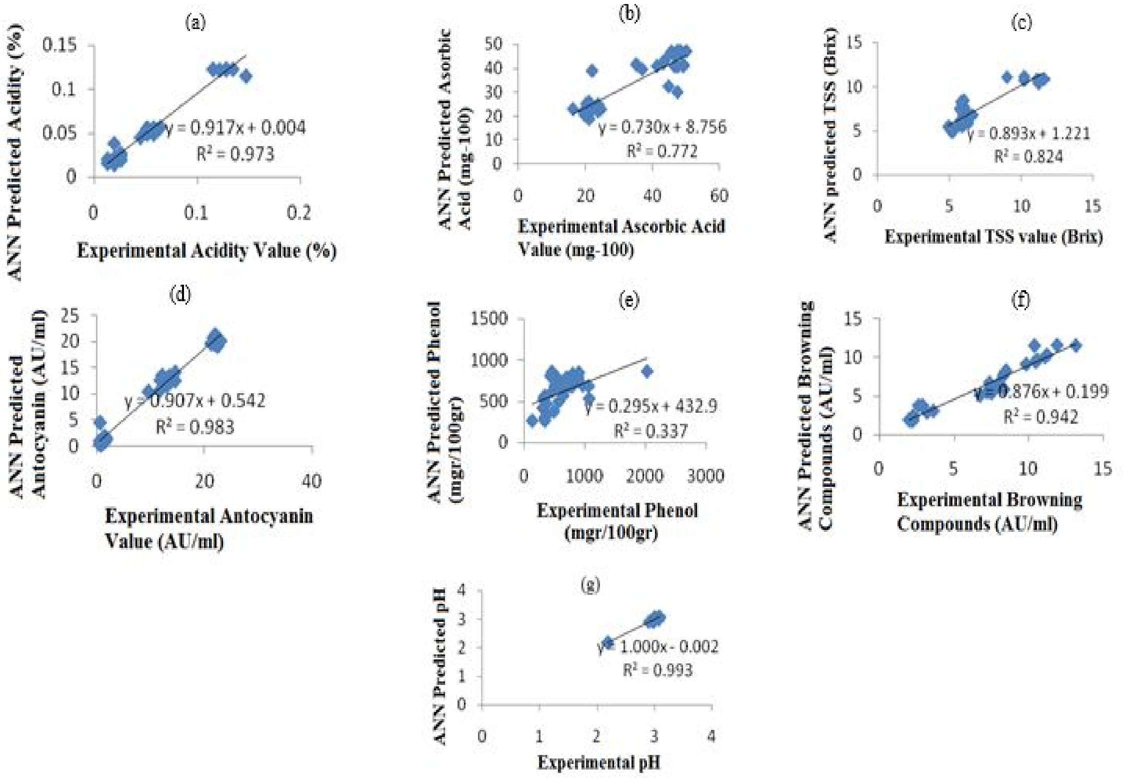
مرحله رسیدگی	اول	دوم	سوم	چهارم	دقت طبقه‌بندی (%)
اول	12	0	0	0	100
دوم	0	14	0	0	100
سوم	0	2	10	0	83/3
چهارم	0	0	0	13	100
دقت طبقه‌بندی (%)	100	87/5	100	100	97/08

همانطور که در ماتریس درهم ریختگی برای دو ویژگی‌های بیشنیه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال آمده است، طبقـه‌بنـد مراحـل اول، دوم و چهـارم رسـیدگی را بـا دقـت 100 درصـد طبقه‌بندی می‌کند. از طرف دیگر مطابق جدول 1، طبقـه‌بنـد در این حالت فقـط دو اشـتباه در تشـخیص مرحلـه رسـیدگی دوم داشت؛ در نتیجه دقت کلی بدست آمده در طبقـه‌بنـدی 97/08 درصد گردید. در پژوهشـی Prabhakar &Mohana (2014) سه طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM)، ماتریس همسایگی نزدیک (k-NN) و تجزیه و تحلیل تفکیک خطی (LDA) بـه منظور درجه بندی دو ویژگی خصوصیات بافت و شکل خرما را مورد بررسی قرار دادند. همچنین عملکرد هر سه طبقه بنـد بـر اساس دقت درجه‌بندی مورد مقایسه قرار گرفتند. مطابق با نتایج گزارش شده، SVM خصوصیات بافت و شکل خرما را با دقت 90/33 و 87/29؛ و همچنین طبقه‌بند k-NN این دو ویژگی را به ترتیب بـا دقـت 91/37 و 88/95 و LDA ایـن دو ویژگـی استخراجی از تصاویر گرفتـه شـده از خرمـا بـا دقـت 88/75 و 86/45 طبقه بندی نمود. در نهایت طبقه بند k-NN به عنـوان بهترین طبقه‌بنـد شـناخته شـد. همچنـین در تحقیقـی دیگـر Nur Badariah و همکاران (2009)یک سیستم درجـه‌بنـدی اتوماتیک برای محصولات کشاورزی ارائه دادند، که از چهار نوع میوه (سیب، موز، پرتقال، انبه) و یک نوع سبزی (هویج) بـرای آزمایش استفاده شد. ویژگی های طول، عرض، مساحت، محیط

و طـول از تصـاویر اسـتخراج گردیـد. ماشـینبـردار پشـتیبان (SVM) سیب، موز، هویج، انبه و پرتقال را بهترتیب بـا دقـت 96/25، 81/25، 0، 98/75 و 6/52 طبقـه بنـدی نمونـد. در پژوهشی دیگر Guru و همکاران (2010) یـک سیسـتم بـرای طبقه بندی تصاویر گل بر اساس ویژگی های بافت بـهدسـت آمده از ماتریس سطح خاکستری (GLCM) پیشنهاد دادند. در این مطالعه از الگوریتم k-NN، با محاسبه فاصله اقلیدسـی بـه منظور طبقهبندی دادهها استفاده گردید. بر اساس نتایج بدست آمده عملکرد الگوریتم k-NN 90/13% گزارش گردید.

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

در بخش آموزش و آزمون شبکه عصبی بهترتیب دو-سوم و یک-سوم نمونهها بهطور تصادفی برای ساخت این مدل انتخاب گردیدند. تعداد نرونها در لایه پنهان با روش سـعیوخطـا بـه ترتیب 6، 8، 6، 10، 6، 5، 10، 6 بـرای پارامترهـای شـیمیایی TSS، ویتامین ث، اسیدیته، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوهای و pH بدست آمد. در ضمن تعداد نرونها در لایه ورودی با توجه به نتیجه انتخاب ویژگی از پنج نرون به دو نرون کاهش یافت. شکل 7 تغییرات میزان خطای میانگین و ضریب همبستگی در پیشبینی پارامترهـای شـیمیایی از جملـه TSS، ویتامین ث، اسیدیته، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنـگ قهوهای و pH در طول مراحل مختلف رسیدگی بر اساس مقادیر پارامترهای فرکتالی (بـه بیشـینه فرکتـال و مسـاحت منحنـی فرکتال) برای بخش آزمون را نشان میدهنـد. میـزان خطـای میانگین برای بخش آزمون شـبکه عصـبی بـرای پارامترهـای آنتوسـیانین، مـواد ایجادکننـده رنـگ قهـوهای، فنـول، TSS، اسـیدیته، ویتـامین ث و pH بـهترتیـب 0/141، 0/0016، 1590/879، 0/0040، 3/5096E، 0/285 و 0/00017 و ضریب همبسـتگی بـهترتیـب 0/99، 0/97، 0/8057، 0/907، 0/986، 0/878 و 0/99 بدست آمد.



شکل7- عملکرد آزمون مدل ANN بهمنظور پیشبینی تغییرات (a) اسیدیته، (b) ویتامین ث، (C) TSS، (d)) آنتوسیانین، (e) فنول، (f) مواد ایجاد کننده رنگ قهوهای و pH (g)

در پژوهشـی Zhang و همکـاران (2011) بـا اسـتفاده از مدلANN آموزش دیده مبتنی بر پارامترهای فرکتال تغییـرات آنتوسیانین، ویتامین ث و فنول در طـول دوره انبارمـانی میـوه بایبری را پیشبینی نمودنـد. مطـابق بـا نتـایج گـزارش شـده مشخص گردید که این مدل آنتوسیانین را بـا ریشـه میـانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی به ترتیب 18/673 و 0/939، و همچنین ویتامین ث و فنـول را بـهترتیـب بـا ریشـه میـانگین مربعات خطا (8/694) و 4/125، ضـریب همبسـتگی 0/935 و 0/393 تخمین زد.

جدول ۳- مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای مخرب (TSS، ویتامین ث، اسیدیته، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) و غیر مخرب (بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال)

تیمار	عملکرد								
	بیشینه فرکتال	مساحت منحنی فرکتال	TSS (°Brix)	ویتامین ث (mg-100)	اسیدیته (٪)	فنول (mgr/100gr)	آنتوسیانین (AU/ml)	مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای (AU/ml)	pH
ST1	۱/۷۸۸^{c}	۲۶۷/۴۵^{d}	۵/۰۵^{c}	۴۷/۱۷^{a}	۰/۱۲۵^{a}	۴۱۹/۶۷^{c}	۱/۳۱۱۳^{c}	۲/۱۳^{d}	۳/۰۱۴^{b}
ST2	۱/۸۰۷^{b}	۲۶۷/۹۳^{c}	۵/۸۳^{b}	۴۲/۴۶^{b}	۰/۰۲۰۵^{c}	۴۶۸/۰۱^{c}	۰/۶۰۸۰^{c}	۳/۰۴^{c}	۲/۹۷^{c}
ST3	۱/۸۱^{a}	۲۶۹/۱۶۳^{b}	۶/۰۸۵^{b}	۲۲/۹۳^{c}	۰/۰۵۵^{b}	۹۲۰/۹۸^{a}	۱۲/۴۳^{b}	۷/۹۵^{b}	۳/۰۷^{a}
ST4	۱/۸۳^{a}	۲۷۱/۰۸۳^{a}	۱۰/۶۹^{a}	۲۱/۳۶^{c}	۰/۰۱۵^{d}	۶۸۴^{b}	۲۱/۴۶^{a}	۱۱/۰۵۱^{a}	۲/۱۷۵^{d}

حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به پارامترهای مخرب (TSS، ویتامین ث، اسیدیته، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) و غیرمخرب (بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		بیشینه فرکتال	مساحت منحنی فرکتال	TSS (°Brix)	ویتامین ث (mg-100)	اسیدیته (٪)	فنول (mgr/100gr)	آنتوسیانین (AU/ml)	مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای (AU/ml)	pH
تیمار	۳	۰/۰۰۰۰۲۶*	۵۲/۴۷*	۱۳۰/۹۷۹*	۳۵۰۸/۵*	۰/۰۱۵*	۱۰۵۲۵۳۰/۷۸۸*	۱۹۷۶/۶۳*	۳۸۵/۵۸*	۳/۶۰۶*
خطا	۷۶	۰/۰۰۳*	۰/۲۸*	۰/۳۸*	۸/۹۵*	۰/۰۰۰۵*	۵۴۵۳۲/۴۹۳*	۲/۳۴۹*	۰/۸۷*	۰/۰۰۰۴*
ضریب تغییرات		۰/۲۸	۰/۱۹	۸/۱۹۳	۸/۹	۱۳/۶۹	۳۷/۴۷	۱۷/۱۲	۱۵/۱۸	۰/۷۱

* نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵٪

Taghadomi-Saberi (2013) با استفاده از مدل شبکه عصبی دو پارامتر بیوشیمایی آنتوسیانین و آنتی‌اکسیدانت موجود در میوه گیلاس را طی دوره رسیدگی پیش¬بینی نمودند. مدل شبکه عصبی میزان آنتوسیانین را با بیشترین ضریب همبستگی (0/965) و کمترین میزان خطای میانگین (215/4) و همچنین آنتی‌اکسیدانت را به‌ترتیب با کمترین خطای میانگین 0/070 و ضریب همبستگی 0/914 پیشگویی کرد. Serrano و همکاران (2005) همچنین نتایج مشابهی را برای رفتار آنتی‌اکسیدانت در طول دوره رسیدگی گیلاس گزارش نمودند. Paulraj و همکاران (2009) یک سیستم به‌منظور تشخیص مراحل رسیدگی موز بر اساس شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، طراحی و پیاده¬سازی نمودند. در این مطالعه چهار مرحله موز با اندازه و مراحل مختلف رسیدگی مورد بررسی قرارگرفتند. مدل شبکه عصبی مصنوعی دقت این دستگاه را برای شناخت موز بر اساس دو ویژگی ذکر شده (اندازه و میزان رسیدگی)، 0/96 پیش‌بینی نمود.

نتایج آنالیز آماری

مطابق جدول2 مشخص گردید که میان تیمار و خطا در تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال خطای 5% تفاوت معنی داری وجود دارد. نتایج مربوط به جدول 3 نشان می‌دهد که؛ مقدار بیشینه و مساحت منحنی فرکتال در طی مراحل رسیدگی به‌صورت معنی¬داری افزایش می¬یابد ($p>0/05$). این مساله نشان از انتخاب صحیح این دو ویژگی در بخش انتخاب ویژگی می¬باشد. با توجه به نتایج حاصل از این دو پارامتر غیرمخرب، هرچه رنگ آبمیوه تیره‌تر گردد، مقدار این دو افزایش خواهد یافت؛ که نتایج حاصل با یافته‌های تحقیق Zhang و همکاران (2011) مطابقت داشت. برای ویژگی‌های مخرب این نتایج حاصل گردید که؛ پارامترهای TSS، آنتوسیانین و مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای با پیشرفت رسیدگی مقدار آنها افزایش و متعاقبا میزان فنول، اسیدیته و ویتامین ث کاهش معنی‌داری داشتند؛ که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های تحقیق برخی از محققان Zhang و همکاران (2011)؛ Agati و همکاران (2005)؛ Ozgen و همکاران (2009)؛ و Zasernowski و همکاران (2005) همخوانی داشت. همچنین برای پارامتر pH یک روند افزایشی و کاهشی وجود داشت.

نتیجه‌گیری

از آنجا که تاکنون در ایران هیچ پژوهشی با هدف مقایسه عملکرد دو روش غیرپارامتریک kNN و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و همچنین استفاده از آنالیز فرکتال بر روی پارامترهای مخرب و غیرمخرب آب توت سیاه و در کشور گزارش نشده است. ضرورت چنین بررسی مورد توجه نویسندگان قرار گرفت. از میان پنج ویژگی استخراج شده از تصاویر آبمیوه توت سیاه توسط آنالیز فرکتال؛ بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال به‌عنوان موثرترین ویژگی در فرآیند آموزش شبکه عصبی و طبقه‌بند k-NN مورد استفاده قرار گرفتند.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان قدردانی می‌نمایند.

منابع

Addison, P.S., 2005, Fractals and Chaos: IOP Publishing.

Agati, G., Pinelli, P., Ebner, S. C., Romani, A., Cartelat, A. & Cerovic, Z. G., 2005, Nondestructive evaluation of anthocyanins in olive (Oleaeuropaea) fruits by in situ chlorophyll fluorescence spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1354-1363.

Ahmad Mustafa, N.B., Ahmed, S.K., Zaipatimah Ali, Yit, W.B., Zainul Abidin, A.A. & Md Sharrif, Z.A., 2010, Agricultural Produce Sorting and Grading using Support Vector Machines and Fuzzy Logic‖, IEEE *International Conference on Signal and Image Processing Applications*, 617-623.

Alighourchi, H. & Barzegar, M., 2009, Some physicochemical characteristics and degradation kinetic of anthocyanin of reconstituted pomegranate juice during storage. *J. Food Eng*, 90, 179-185.

Al-Zubaidy, M. M. I. & Khalil, R. A., 2007, Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. *Food Chem*, 101, 254-259.

Andallu, B. & Varadacharyulu, N.C., 2003, Antioxidant role of mulberry (*Morus indica* L. cv. Anantha) leaves in streptozocin-diabetic rate. *Clinica Chimica Acta*, 338, 3-10.

Asano, N., Yamashita, T., Yasuda, K., Ikeda, Kizu, H. & Kameda, Y., et al., 2001, Polyhydroxylated alkaloid isolated from mulberry trees (*Moros alba* L.) and silkworms (*Bombyx mori* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4208-4213.

Auria, L. & Moro, R. A., 2008, Support vector machines (svm) as a technique for solvency analysis, Technical report, Discussion papers: Ger- man Institute for Economic Research (Deutsches Institut fr Wirtschafts-forschung, Berlin).

Barakat, M. Z., Shehab, S.K., Darwish, N. & El-Zoheiry, A., 1973, A new titrimetric method for the determination of vitamin C. *Analalytical Biochemistry*, 53, 245-251.

Barrett, A. H. & Peleg, M., 1995, Applications of fractal analysis to food structure. *LWT-Food Sci. Technol*, 28, 553-563.

Bila, S., Harkouss, Y., Ibrahim, M., Rousset, J., N'Goya, E., Baillargeat, D., Verdeyme, S., Aubourg, M. & Guillon, P., 1999, An accurate wavelet neural-network-based model for electromagnetic optimization of microwave circuits. Int. J. RF *Microwave CAE*, 93, 297-306.

Blasco, J., Aleixos, N., Cubero, S., Gomez-Sanchis, J. & Molto, E., 2009, Automatic sorting of satsuma (*Citrus unshiu*) segments using computer vision and morphological features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66, 1–8.

Burdurlu, H. S., Koca, N. & Karadeniz, F., 2006, Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *J. Food Eng*, 74, 211-216.

Cemeroglu, B., Velioglu, S. & Isik, S., 1994, Degradation kinetics of anthocyanins in sour cherry juice and concentrate. *J. Food Sci*, 59, 1216-1218.

Damiri, D. J. & Slamet, C., 2012, Application of image processing and ar- tificial neural networks to identify ripeness and maturity of the lime (*citrus medica*), *International Journal of Basic and Applied Science*, 1(2), 171–179.

Diaz, R., Faus, G., Blasco, M. & Molto, E., 2000, The application of a fast algorithm for the classification of olives by machine vision. *Food Research International*, 33, 305–309.

Dogan, A., Demirpence, H. & Cobaner, M., 2008, Prediction of groundwater levels from lake levels and climate data using ANN approach. *Water SA*, 34 (2), 1-10.

Du, J., He, Z.D., Jiang, R.W., Ye, W.C., Xu, H.X. & But, P.P.H., 2003, Antiviral flavonoids from the root bark of Morus alba L. *photochemistry*, 62, 1235-1238.

Eksi, A. & Turkmen, I., 2011, Brix degree and sorbitol/xylitol level of authentic pomegranate (*punica granatum* L.) juice. *Food Chemistry*, 127(3), 1404-1407.

El-Beshbishy, H.A., Singab, A.N.B., Sinkkonen, J. & Pihlaja, K., 2006, Hypolipidemic and antioxidant effect of Morus alba L. (*Egyption mulberry*) root bark fraction supplementation in cholesterol-fed rats. *Life Siences*, 78, 2724-2733.

Fang, Y. C. & Wu, B. W., 2007, Neural network application for thermal image recognition on flow-resolution objects. J. Opt. A: Pure Appl. Opt, 9 (2), 134-144.

Furferi, R., Governi, L., & Volpe, Y., 2010, ANN-based method for olive ripening index automatic prediction.*J. Food Eng*, 101, 318-328.

Guru, D.S., Sharath, Y.H. & Manjunath, S., 2010, "Texture Features and K-NN in Classification of Flower Images", IJCA Special Issue on "Recent Trends in Image Processing and Pattern Recognition", RTIPPR.

Haykin, S., 1994, Neural network: A comprehensive foundation. New York, NY: Macmillan.

He, Z., You, X., & Yuan, Y., 2009, Texture image retrieval based on nontensor product wavelet filter banks. Signal Process, 89, 1501-1510.

Holecraft, D. M., Gil, M. I. & Keder, A. A., 1998, Effects of carbon dioxid on anthocyanine ammonia, phenylalanine, ammonia lyse and glocosyltransterase in the arils of stored pomegranates. *Journal American Society Horticulture Science*, 123(1), 136-140.

Kaastra, I., & Boyd, M., 1996, Designing a neural network for forecasting financial and economic time *series. Neurocomputing*, 10, 215-236.

Kang, T.H., Hur, J.Y., Kim, H.B, Ryu, J.H. & Kim, S.Y., 2006, Neuroprotective effects of the cyaniding-3-O-â-D-glucopyranoside isolated from mulberry fruit against cerebral ischemia. *Neuroscience Letters*, 391, 168-172.

Kim, S.Y., Park, K.J. & Lee, W.C., 1998, Antiinflamatory and antioxidative effect of Morus spp. Fruit extract. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 6, 204-209.

Kumar, S. & Kaur, H., 2012, Face recognition techniques: Classification and comparisons, International Journal of *Information Technology and Knowledge Management*, 5(2), 361–363.

Langner, J., 2001, Leaves Recognition v.1.0. Retrieved from http://www.jenslangner.de/lrecog.

Laykin, S., Alchanatis V. & Edan Y., 2002, Image processing algorithms for tomato classifications. Transactions of the ASAE, 45, 851–858.

Laykin, S., Alchanatis, V., Edan, Y. & Weisman, Z., 2008, Image Processing Algorithms for Table Olives *Classification.*

Lee, W. S., Alchanatis, V., Yang, C., Hirafuji, M., Moshou, D. & Li, C., 2010, Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74, 2-33.

Mandelbrot, B. B., 1982, Fractal Geometry of Nature; Freeman Press: *San Francisco*, CA.

Mendoza, F., Valous, N.A., Paul Allen, P., Kenny, T.A., Paddy Ward, p. & Sun, D.W., 2009, Analysis and classification of commercial ham slice images using directional fractal dimension features. *Meat Science*, 81, 313–320.

Mendoza, L. & Aguilera, J.M., 2004, Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of Food Science*, 69, 471–477.

Mohana S.H. & Prabhakar C.J., 2014, A novel Technique for grading of dates using shape and texture features. *An International Journal* (MLAIJ) Vol.1, No.2, 15-29.

Mucherino, A., Papajorgji, P. J. & Pardalos, P. M., 2009, Data mining in agriculture (Vol. 34). Springer Science & Business Media.

Ninawe, P. & Pandey, Sh., 2014, A Completion on Fruit Recognition System Using K-Nearest Neighbors Algorithm. International Journal of Advanced Research in Co Engineering & Technology (IJARCET) Volume 3 Issue 7, 2352-2356.

Ozgen, M., Serc, E.S. & Kaya, C., 2009, Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich Morusnigra and Morusrubra fruits. *Sci. Hortic*, 119, 275–279.

Pace, B., Cefola, M., Renna, F., Renna, M. & Serio, F, 2013, Multiple regression models and computer vision systems to predict antioxidant activity and total phenols in pigmented carrots. *Journal of Food Engineering*, 117, 74-81

Pandolfi, C., Messina, G., Mugnai, S., Azzarello, E., Masi, E., Dixon, K. & Mancuso, S., 2009, Discrimination and identification of morphotypes of Banksia integrifolia (Proteaceae) by an artificial, neural network (ANN) based on morphological and fractal parameters of leaves and flowers. TAXON, 58 (3), 925-933.

Parlak, A., Islamoglu, Y., Yasar, H. & Egrisogut, A., 2006, Application of artificial neural network to predict specific fuel consumption and exhaust temperature for a diesel engine. *Appl. Therm. Eng*, 26, 824-828.

Paulraj, M., Hema, C. R., R Pranesh, K. & Siti Sofiah, M. R., 2009, Color recognition algorithm using a neural network model in determining the ripeness of a banana, The International Conference on Man-Machine Systems (ICoMMS), *Universiti Malaysia Perlis*, pp. 2B71–2B74.

Pudil, P., Novovičová, J. & Kittler, J., 1994, Floating search methods in feature selection. Pattern recognition *letters*, 15(11), 1119-1125.

Quevedo, R., Mendoza, F., Aguilera, J.M., Chanona, & Gutie´rrez-Lo´pez, J., 2008, Determination of senescent spotting in banana (*Musa Cavendish*) using fractal texture Fourier image. *Journal of Food Engineering*, 84, 509–515.

Quevedo, R., Pedreschi, F., Bastias, J.M. & Díaz, O., 2016, Correlation of the fractal enzymatic browning rate with the temperature in mushroom, pear and apple slices. LWT - *Food Science and Technology*, 65, 406-413.

Ragni, L., Berardinelli, A. & Guarnieri, A., 2010, Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. *Journal of Food Engineering*, 96, 591-597.

Seng, W.C. & Mirisaee, S.H., 2009, " A New Method for Fruits Recognition System ", International Conference on Electrical Engineering & Informatics, *Selangor*, 346-350.

Serrano, M., Guillean., F., Martinez-Romero, D., Castillo, S. & Valero, D., 2005, Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2741-2745.

Shah Rizam, M., Farah Yasmin, A., Ahmad Ihsan, M. & Shazana, K., 2009, Non-destructive watermelon ripeness determination using image processing and artificial neural network (ann), *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 4(6).

Taghadomi-Saberi, S., Omid, M., Emam-Djomeh, Z. & Ahmadi, H., 2013, Development of an intelligent system to determine sour cherry's antioxidant activity and anthocyanin content during ripening. *International Journal of Food Properties*, 48, 735-741.

Thygesen, L.G., Thybo, A.K., & Engelsen, S.B., 2001, Prediction of sensory texture quality of boiled potatoes from lowfield1H NMR of raw potatoes. The role of chemical constituents. *Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie*, 34, 469–477.

Waterhouse, A. L., 2002, Determination of total phenolics. In: Current Protocols in Food Analytical *Chemistry*, 11(1), 11-18.

Welstead, S., 1999, Fractal and Wavelet Image Compression Techniques: *Tutorial in optical engineering*, Volume TT40.

Yuanyou, X., Yanming, X, & Ruigeng, Z., 1997, An engineering geology evaluation method based on an artificial neural network and its application. *Eng. Geol*, 47 (1-2), 149-156.

Zadernowski, R., Naczk, M. & Nesterowicz, J., 2005, Phenolic acid profiles in some small berries. Journal of *Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2118-2124.

Zhang, J., Zhang, B., & Bai, S., 2007, Fractal Image Processing and Analysis by Programming in Matlab: Proceeding of 8th WSEAS Int. Conference on Mathematics and Computers in Biology and Chemistry, Vancouver, Canada, June 19-21.

Zheng, C., Sun, D.W. & Zheng, L., 2006, Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection – a review. *Trends in Food Science and Technology*, 17, 642–655.

Zheng, H., Jiang, L., Lou, H., Hu, Y., Kong, X. & Lu, H., 2011, Application of Artifical Neural Network (ANN) and Partical Least-Squares Regression (PLSR) to Predict the Changes of Anthocyanins, Ascorbic Acid, Total Phenols, Flavonoids, and Antioxidant Activity during Storage of Red Bayberry Juice Based on Fractal Analysis and Red, Green, and Blue (RGB) Intensity Values. *J. Agric. Food Chem*, 59, 592-600.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 730-743

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 743-730

Predict changes of some quality parameters of black mulberry juice (*Morusnigra* L.) during ripening using machine vision and fractal analysis

M. Soltani kazemi[1] , S. Abdanan Mehdizadeh[2*], M. Heydari[3], S. M. Faregh[4]

Received: 2016.07.10
Accepted: 2016.12.12

Introduction: Blackberry is a perennial woody plant native to warm, temperate, and subtropical regions of Asia, Africa, North America, and southern Europe. Blackberry fruit (*Morus Alba Varnigra* L.) is a rich source of anthocyanins. Furthermore, it has great many medicinal properties such as an antidiabetic (Asano *et al*., 2001), antihyperglycemic (Andallu &Varadacharyulu, 2003), antiviral (Du *et al*., 2003), antioxidative (Kim *et al*., 1998), hypolipidemic (El-Beshbishy *et al*., 2006), and neuroprotective (Kang et al., 2006). However, measuring some qualitative and nutrient parameters in this fruit such as anthocyanins, vitamin C and phenol directly has become a major issue (Pace *et al*, 2013). Therefore, researchers try to predict aforementioned parameters by mathematical models. One of these models is the fractal model which is widely used to study the properties of the images/objects (Welstead, 1999; Zhang, 2007). Recently, many researchers try to develop different methods to classify or predict the agricultural products quality (Langner, 2001). In a research Seng and Mirisaee (2009) designed a machine vision algorithm for classification of fruits (apple, lemon, strawberry and banana) based on color, shape and size. Li and He investigated the application of visible/near infrared spectroscopy (Vis/NIRS) for measuring the acidity of Chinese bayberry. The model for prediction the acidity (r=0.963), standard error of prediction (SEP) 0.21 with a bias of 0.138 showed an excellent prediction performance. Therefore, the aim of this study was to predict biochemical parameters (TSS, anthocyanins, browning compounds, total phenols, Ascorbic Acid, pH) of blackberry juice, nondestructively, during maturity process using machine vision and fractal analysis. To develop predictive models and data classification, artificial neural networks (ANN) and k-nearest neighbor (k-NN) were used.

Materials and methods: Eighty blackberry fruits from four maturity stages were selected. The fruit samples were placed in airtight polyethylene bags, stored in an ice-filled cooler and transported to the laboratory to keep at cold temperature (4±1°C).

Fresh fruits were squeezed by a household juicer, and immediately transported to the laboratory. Then, juice images were taken with a digital camera CASIO (Model Exilim EX-ZR700; 16 megapixels, Japan) and stored to the computer.

There are several ways to measure the fractal dimension. In this study, the proposed method by Addison (2005) was used to calculate the fractal dimension.

Feature selection is one of the issues that have been raised in the context of machine learning. In this study, floating search method feature selection was used (Pudil *et al*., 1994).

k-Nearest Neighbor (k-NN) is one of the simplest methods for information classification. In this study, the Euclidean distance between two points was used to determine the distance between the input data with the training patterns (Mucherino et al., 2009).

To train the neural network, Levenberg–Marquardt training algorithm was used. In this regard, the data were divided randomly into two parts (two-thirds for training (60) and one-third (20) for testing the network). Input parameters were X_a, X_b, X, Y and S and output parameters were TSS, ascorbic acide, acidity, polyphenols, anthocyanins, brown-causing substances and pH. Moreover, in this study, the number of neurons in the hidden layer was selected by trial and error method.

After selecting the best features extracted from the image processing with the highest correlation with

1 and 2. MSc student and Associate professor, Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan.
3. Associate professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan.
4. Assistant professor, Agricultural Farm machinery and Mechanization Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan
(*Corresponding Author: saman.abdanan@gmail.com)

chemical parameters (TSS, anthocyanins, total phenols, ascorbic acid, and pH), a machine vision system was designed and built to be able to determine the internal properties of black mulberry juice.

Total soluble solids (TSS) were determined by a hand refractometer device (model: MT03 Japan). The anthocyanin content was estimated following the procedure of Holecraft et al., (1998). Ascorbic acid of the juice was measured by titration with copper sulfate and potassium iodide based on the Barakat et al., (1973) procedure. Titratable acidity was measured according to the Eksi and Turkman, (2011) method. Waterhouse (2002) method was used for measuring the total phenol of juice.

Results and discussion: Artificial neural network (ANN) and (k-NN) models were used to predict the changes of anthocyanin (AC), browning compounds, ascorbic acid (AA), total phenols (TP), acidity, TSS and pH in mulberry juice during ripening based on fractal analysis. Two features namely: maximum fractal and fractal curve area were selected from five extracted features and used for training neural network and k-NN classifier

Key Words: ANN, k-NN, Fractal Dimension, Biochemical Par

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 758-744

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 744-758

بهینه‌سازی شرایط تشکیل کونژوگه‌های حاصل از پروتئین‌های شیر با بخش محلول صمغ‌های بومی ایرانی (صمغ فارسی و کتیرا)

فاطمه آذری کیا[1]- سلیمان عباسی[2]*

تاریخ دریافت: 1395/01/31
تاریخ پذیرش: 1395/07/22

چکیده

واکنش میلارد یک روش شناخته شده جهت ایجاد اتصال کووالانسی بین پروتئین‌ها و بسیارقندی‌ها می‌باشد که به‌منظور بهبود ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بهینه‌سازی تولید کونژوگه‌های پروتئین‌های شیر–بخش محلول صمغ‌های بومی با استفاده از روش سطح پاسخ و کاربرد آن‌ها به‌منظور افزایش پایداری امولسیون‌های آب در روغن بود. برای تولید کونژوگه‌های پروتئین– بسیارقندی، حرارت‌دهی به روش خشک (دمای 60 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 79 درصد) انجام شد و تاثیر هم‌زمان نسبت پروتئین:بسیارقندی و زمان حرارت‌دهی بر متغییرهای وابسته (میزان جایگزینی آمین آزاد و تغییر رنگ) بررسی گردید. به‌علاوه، جهت بررسی امکان بهبود پایداری امولسیون‌ها با استفاده از کونژوگه‌های حاصل، روغن آفتابگردان (4 درصد وزنی/ وزنی) به محلول کونژوگه پروتئین–بسیارقندی (0/4 درصد وزنی/ وزنی) افزوده شده و همگن‌سازی توسط امواج فراصوت انجام شد. طبق نتایج به‌دست آمده، شرایط بهینه از لحاظ زمان حرارت‌دهی و نسبت پروتئین: بسیارقندی در روش میلارد خشک به‌ترتیب برای ایزوله پروتئین‌های سرمی–بخش محلول صمغ فارسی 8 روز و 1/59:1، برای کازئینات سدیم–بخش محلول صمغ فارسی 7 ساعت و 2:1، برای ایزوله پروتئین‌های سرمی–بخش محلول صمغ کتیرا 13/64 روز و 3:1 و برای کازئینات سدیم–بخش محلول صمغ کتیرا 7/82 ساعت و 3:1 بود. نتایج این تحقیق نشان دادند که صمغ فارسی در مقایسه با صمغ کتیرا توانایی بیشتری در ایجاد اتصال کووالانسی با پروتئین‌های شیر داشت. هم‌چنین، اتصال پروتئین به بخش محلول صمغ‌های بومی نه تنها منجر به پایداری کامل امولسیون‌ها نشد، بلکه سبب کاهش کارایی پروتئین‌ها در پایداری امولسیون‌ها شد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین‌های شیر، واکنش میلارد، کتیرا، صمغ فارسی

مقدمه

واکنش میلارد واکنش شیمیایی است که بین گروه آمین آزاد پروتئین (معمولا گروه ε-آمینو لیزین و نیز گروه α-آمینو اسیدهای انتهایی) با گروه کربوکسیل انتهایی بسیارقندی[3] اتفاق می‌افتد. تشکیل کونژوگه پروتئین–بسیارقندی (گلیکوپروتئین) براساس تشکیل باز شیف (با آزاد کردن یک مولکول آب) و تغییر آرایش آمادوری طی واکنش میلارد استوار است. در این واکنش چندین متغیر مانند دما، زمان، pH، فعالیت آبی، ویژگی‌های ذاتی پروتئین و قند (تک‌قندی، دوقندی و بسیارقندی) و نیز نسبت گروه آمین به قند احیاکننده در بازدهی و نوع محصول واکنش میلارد تاثیرگذار هستند که در نهایت در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ساختار و عملکردی پروتئین‌های اصلاح شده موثرند (Liu *et al.*, 2012; Kato, 2002). مطالعات نشان داده‌اند که ایجاد گلیکوپروتئین منجر به افزایش حلالیت پروتئین‌ها، افزایش مقاومت حرارتی آن‌ها، افزایش ویژگی امولسیون‌کنندگی، افزایش ویژگی کف‌کنندگی، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، افزایش فعالیت ضدمیکروبی و بهبود ویژگی‌های بافتی می‌شود (Liu *et al.*, 2012).

برای ایجاد پیوند کووالانسی با استفاده از واکنش میلارد بین پروتئین و بسیارقندی‌ها دو روش وجود دارد: واکنش به روش خشک[4] و واکنش به روش مرطوب[5]. روش خشک امروزه برای ایجاد اتصال کووالانسی بین پروتئین‌ها و بسیارقندی‌ها به‌طور متداول استفاده می‌شود. برای تهیه کونژوگه پروتئین– بسیارقندی با این روش محلول هر یک از بسپارهای زیستی تهیه شده و به نسبت‌های مختلفی با یکدیگر مخلوط شده و با روش خشک کردن انجمادی به پودر تبدیل می‌شود. پودر حاصل در رطوبت نسبی 79 درصد معمولا

1 و 2- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران.
(* - نویسنده مسئول (Email: sabbasifood@modares.ac.ir
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55259
3 Polysaccharide
4 Dry reaction
5 Wet reaction

در دمای 60 درجه سانتی‌گراد برای مدت مشخصی حرارت می‌بینند. لازم به ذکر است که مدت زمان لازم برای ایجاد واکنش میلارد به ساختار پروتئین بستگی دارد (O'Regan *et al*., 2009; Kato, 2002). به‌علاوه، در واکنش میلارد امکان کاهش زمان واکنش با افزایش دما وجود دارد (Akhtar *et al*., 2003).

همان‌گونه که اشاره شد یکی از مزایای اتصال بسیارقندی‌ها به پروتئین‌ها افزایش ویژگی امولسیون‌کنندگی پروتئین‌هاست. این بسپارهای زیستی، به‌عنوان مولکول‌های دارای دو سر قطبی، به‌طور وسیعی در صنایع غذایی به‌عنوان امولسیون‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ اما، تغییر شرایط محیطی مانند تغییر pH، دما، قدرت یونی و انجماد–انجمادزدایی می‌تواند پایداری امولسیون‌های بر پایه پروتئین را تحت تاثیر قرار دهد. لذا، به واسطه واکنش میلارد می‌توان بسیارقندی‌هایی را که بیشتر آن‌ها به علت عدم برخورداری از فعالیت سطحی مناسب فاقد ویژگی امولسیون‌کنندگی هستند را به مولکول‌های پروتئین متصل نمود تا به‌واسطه این مولکول‌ها در سطح مشترک روغن و آب قرار گیرند و با افزایش ضخامت لایه بین سطحی و در برخی موارد با افزایش دافعه الکترواستاتیک سبب افزایش پایداری سامانه‌های امولسیونی شوند (McClements, 2005).

تاکنون از پروتئین‌ها و بسیارقندی‌های متعددی به‌منظور ایجاد کونژوگه پروتئین–بسیارقندی به‌منظور افزایش ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی پروتئین‌ها استفاده شده است، به‌عنوان مثال از: ایزوله پروتئین‌های سرمی و دکستران (Akhtar *et al*., 2003)، ایزوله پروتئین‌های سرمی و پکتین (Xu *et al*., 2012)، بتا-لاکتوگلوبولین–دکستران (Wooster *et al*., 2006)، پروتئین گندم دآمیده شده و گلوکز یا مالتودکسترین (Wong *et al*., 2011)، کازئینات سدیم–مالتودکسترین (O'Regan *et al*., 2009)، صمغ فیبر ذرت و بتا-لاکتوگلوبولین و یا ایزوله پروتئین‌های سرمی (Yadav *et al*., 2010)، پروتئین‌های آب پنیر و نشاسته (صادقیان و همکاران، 1392)، فسویتین زرده تخم‌مرغ و دکستران (Chen *et al*., 2014)، بتا-لاکتوگلوبولین و تک قندی‌های شش کربنه (Cheetangdee *et al*., 2014)، ایزوله پروتئین‌های سویا و بسیارقندی‌های محلول سویا (Yang *et al*., 2015)، آنزیم لیزوزیم و تراگاکانتین (Koshani *et al*., 2015) و بتا-لاکتوگلوبولین و صمغ فارسی (Golkar *et al*., 2015). با توجه به اینکه در پژوهش حاضر عملکرد صمغ‌های بومی ایرانی (کتیرا و صمغ فارسی) برای اتصال با پروتئین‌های شیر مورد مقایسه قرار گرفت در ادامه به معرفی اجمالی این صمغ‌ها پرداخته می‌شود.

صمغ کتیرا عصاره خشک شده به‌دست آمده از ساقه نوعی گون از جنس آستراگالوس (*Astragalus*) بوده که این گیاه به‌طور طبیعی در مناطقی از ایران، ترکیه و بعضی کشورهای دیگر رشد می‌نماید. این صمغ توسط سازمان غذا و داروی امریکا به‌عنوان یک ماده غذایی سالم طبقه‌بندی شده و به‌عنوان پایدارکننده، امولسیون‌کننده و قوام‌دهنده در صنایع غذایی، داروسازی و آرایشی- بهداشتی کاربرد دارد. این صمغ دارای بخش‌های محلول (تراگاکانتین) و نامحلول در آب (باسورین) می‌باشد که بخش محلول آن در دسته هیدروکلوئیدهای دارای بار منفی قرار دارد (Azarikia *et al*., 2010; Weiping *et al*., 2000).

صمغ فارسی صمغی است شفاف که از درخت بادام کوهی از خانواده گلسرخیان[1] به دست می‌آید و ایران عمده‌ترین تولیدکننده این صمغ فارسی است. قیمت صمغ فارسی در مقایسه با صمغ کتیرا به‌طور چشمگیری پایین‌تر است. این بسیارقندی تقریبا دارای 88/7 درصد قند کل و 10 درصد اورونیک اسید است که شاخه اصلی آن از نسبت تقریبی 1:2 گالاکتوز: آرابینوز ساخته شده است. همانند صمغ کتیرا، این صمغ از دو بخش محلول و نامحلول در آب تشکیل شده است که به‌ترتیب 30 و 70 درصد وزنی/ وزنی صمغ فارسی را به خود اختصاص می‌دهند. منطقه جغرافیایی رویش و رنگ صمغ بر برخی شاخص‌های فیزیکوشیمیایی صمغ تاثیر دارد (Abbasi *et al*., 2015; Fadavi *et al*., 2014).

هدف از پژوهش حاضر، یافتن شرایط بهینه تولید گلیکوپروتئین پروتئین‌های شیر–بخش محلول صمغ‌های بومی ایرانی (ایزوله پروتئین‌های سرمی–تراگاکانتین (WPI–SFGT)، کازئینات سدیم–تراگاکانتین (CN–SFGT)، ایزوله پروتئین‌های سرمی–بخش محلول صمغ فارسی (WPI–SFPG) و کازئینات سدیم–بخش محلول صمغ فارسی (CN–SFPG)) به روش میلارد خشک و بررسی کارایی کونژوگه‌های حاصل به منظور افزایش پایداری امولسیون‌های آب در روغن بود. به‌علاوه، این مطالعه امکان مقایسه عملکرد بخش محلول دو صمغ بومی را در اتصال به پروتئین‌های شیر میسر ساخت.

مواد و روش‌ها

ایزوله پروتئین‌های سرمی شیر با نام تجاری بیپرو[2] از شرکت دیویسکو امریکا تهیه شد که طبق گزارش تولید کننده به‌ترتیب شامل 0/3±97/6، 0/5>، 0/2±2/0 و 0/2±0/4 درصد پروتئین، چربی، خاکستر و لاکتوز بود. کازئینات سدیم (m0130Vlot 100) نیز از شرکت سیگما تهیه شد. کتیرای نواری (گونه *آستراگالوس گوسیپینوس*[3]) از فروشگاه‌های عطاری سنتی تهران خریداری شد و پس از آسیاب کردن و عبور دادن الک آزمایشگاهی شماره 60، پودر

1 Rosaceae
2 BiPRO® Whey protein isolate
3 *A. gossypinus*

حاصل برای انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. صمغ فارسی (جمع آوری شده از جنگل‌های ارسباران در استان آذربایجان‌شرقی) نیز به همان صورت به پودر تبدیل شد. در ضمن، هیدروکسید سدیم، اسید کلریدریک و سدیم آزاید مورد استفاده از شرکت مواد شیمیایی مرک آلمان تهیه گردید. تری سدیم فسفات از شرکت فیشر (ساخت امریکا) و سایر مواد شیمیایی از شرکت سیگما تهیه شدند. از آب دیونیزه برای تهیه نمونه‌ها استفاده شد.

واکنش میلارد به روش خشک بین پروتئین‌های شیر و بخش محلول صمغ‌های بومی

برای تهیه کونژوگه‌ها به روش خشک، ابتدا صمغ‌های بومی در بافر فسفات سدیم 0/1 مولار (pH=7) حل و به مدت یک شب، جهت آب‌گیری کامل در یخچال نگهداری شدند. برای جداکردن فاز محلول و نامحلول آن‌ها از سانتریفوژ (صمغ فارسی به مدت 20 دقیقه و کتیرا به مدت 45 دقیقه در 14000 دور در دقیقه (20379*g*)) استفاده شد. محلول غلیظ پروتئین‌ها (3 درصد وزنی/ وزنی) نیز با حل کردن پودر آن‌ها در بافر تهیه گردید. برای به‌دست آوردن محلول کازئینات سدیم عاری از ذرات نامحلول، پراکنش حاصل به مدت 30 دقیقه در 14000 دور در دقیقه سانتریفوژ و از بخش محلول آن، که 80 درصد وزن کل پروتئین را به‌خود اختصاص داده بود، استفاده شد. پس از تهیه محلول‌ها، پروتئین‌ها و بسیارقندی‌ها مطابق نسبت‌هایی که در ادامه اشاره خواهد شد با یکدیگر مخلوط شدند (جدول 1) و پس از هم‌زدن (یک ساعت در 300 دور در دقیقه)، داخل فالکون‌های پلاستیکی منجمد (80- درجه سانتی‌گراد) و در پایان توسط خشک‌کن انجمادی خشک شدند. پس از خروج از خشک‌کن انجمادی، نمونه‌ها با استفاده از هاون آزمایشگاهی پودر شده و برای آزمایشات بعدی در فریزر (22- سانتی‌گراد) نگهداری شدند. به منظور ایجاد کونژوگه پروتئین– بسیارقندی، پودرهای حاصل درون پلیت‌های شیشه‌ای داخل دسیکاتور چیده شده و در آون 60 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. لازم به ذکر است که جهت تامین رطوبت نسبی 79 درصد، دسیکاتور حاوی کلرید سدیم اشباع (0/37 گرم نمک به ازاء 1 میلی‌لیتر آب مقطر) بود. به‌منظور ایجاد تعادل هوای داخل دسیکاتور، دسیکاتورها از روز قبل در آون (60 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. از آن‌جایی که برای بهینه‌سازی میزان واکنش میلارد از روش سطح پاسخ استفاده شد مدت زمان اعمال حرارت روی نمونه‌ها طبق جدول 1 بود.

بررسی خصوصیات محصولات حاصل از واکنش میلارد

گروه‌های آمین آزاد ($-NH_2$) در نمونه‌ها با روش رنگ‌سنجی با استفاده از معرف نین‌هیدرین تعیین شدند (Muppalla *et al.*, 2012; Doi *et al.*, 1981)، با این آزمون که قادر به اندازه‌گیری گروه‌های آزاد α- و ε- آمین بود درصد جایگزینی گروه‌های آمین آزاد با محصولات واکنش میلارد (DS%) پس از قرائت میزان جذب نمونه (در طول موج 570 نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌نورسنج فرابنفش–مرئی) قبل از اعمال حرارت طی واکنش میلارد (A_0) و میزان جذب همان نمونه بعد از اعمال حرارت‌دهی است (A_1) با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (Li *et al.*, 2013; 2009):

$$DS\ (\%) = ((A_0 - A_1)/A_0) \times 100 \qquad (1)$$

برای بررسی رنگ نمونه‌ها قبل و بعد از واکنش میلارد از دستگاه هانترلب (رستون، امریکا) استفاده شد که به‌منظور کالیبره نمودن دستگاه از صفحات سرامیکی سفید و سیاه استفاده شد (L^*=92/23، a^*= -1/29 و b^*=1/19). مقادیر رنگ به‌صورت L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی تا سبزی) و b^* (زردی تا آبی) بیان شدند. میزان تغییرات رنگ (ΔE^*) پس از حرارت‌دهی توسط فرمول زیر محاسبه گردید (Chung *et al.*, 2015):

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \qquad (2)$$

تهیه امولسیون با استفاده از محصولات حاصل از میلارد خشک

برای تهیه امولسیون مقدار مشخصی از کونژوگه پروتئین–بسیارقندی حاصل از حرارت‌دهی خشک به 50 گرم آب دیونیزه اضافه شد (مقدار طوری محاسبه گردید که 0/4 درصد وزنی/ وزنی پروتئین در تمامی امولسیون‌ها وجود داشته باشد تا امولسیون‌ها با نمونه شاهد قابل مقایسه باشند). پس از هم‌زدن با استفاده از هم‌زن مغناطیسی به مدت 1/5 ساعت، برای اطمینان از آب‌گیری کامل در دمای 4 درجه سانتی‌گراد به مدت یک شب نگهداری شد. سپس، 4 گرم روغن آفتابگردان و نیز آب دیونیزه برای رساندن وزن کل به 100 گرم اضافه شدند و در ادامه توسط هم‌زن مغناطیسی با سرعت 400 دور در دقیقه به مدت 5 دقیقه هم‌زده شد. فرایند پیش همگن‌سازی با استفاده از همگن‌ساز روتور-استاتور، التراتوراکس (WiseTis®HG-15D ، آلمان) در 4000 دور در دقیقه به‌مدت 3 دقیقه و 10000 دور در دقیقه به‌مدت 1 دقیقه صورت گرفت. سپس برای دستیابی به گویچه‌های ریز از همگن‌ساز فراصوت (Misonix sonicator، 4000، آمریکا) در شدت 100 درصد به مدت 4 دقیقه استفاده شد. در نهایت، pH امولسیون‌ها در pHهای 3، 5 و 7 تنظیم گردیده و سدیم آزاید (0/04 درصد وزنی/ وزنی) به‌منظور جلوگیری از رشد میکروبی به امولسیون‌ها اضافه شد. به‌منظور تعیین پایداری امولسیون‌ها، 12 میلی‌لیتر از امولسیون تهیه شده داخل لوله‌های شیشه‌ای منتقل و در یخچال (دمای 4 درجه سانتی‌گراد) به‌مدت 30 روز نگهداری شد. اندیس پایداری امولسیون[1] با استفاده از رابطه زیر

1 Emulsion stability index

محاسبه گردید که در این رابطه H_E ارتفاع کل امولسیون و H_S ارتفاع فاز سرمی است (Azarikia *et al*., 2016):

$$ESI = (H_E-H_S/H_E) \times 100 \quad (3)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تعیین شرایط بهینه ایجاد کونژوگه پروتئین– بسیارقندی از طرح آماری سطح پاسخ[1] و طراحی مرکب مرکزی[2] استفاده شد. شکل اصلی طراحی مرکب مرکزی، طراحی مرکب مرکزی محیطی[3] است که این طراحی برای بهینه‌سازی ایجاد کونژوگه به روش میلارد با مطالعه اثر دو متغیر مستقل مورد استفاده قرار گرفت. اثر متغیرهای مستقل شامل: X_1 (نسبت پروتئین:بسیارقندی) و X_2 (زمان حرارت‌دهی) در 5 سطح (جدول 1) مورد بررسی قرار گرفت.

مطابق جدول 2 تعداد نمونه‌های آزمایش برای تشکیل کونژوگه هر یک از ترکیبات پروتئین– بسیارقندی برابر 11 مورد بود که در این میان 3 آزمون تکرار در نقطه مرکزی بودند و این نقاط برای تخمین خطای آزمایش استفاده شدند. میانگین پاسخ‌های به‌دست آمده (میزان جایگزینی آمین آزاد و میزان تغییر رنگ) از 2 مرتبه تکرار هر آزمایش به‌عنوان متغیر وابسته یا پاسخ (Y) بوده و نتایج آزمون بر اساس معادله درجه دوم زیر تحلیل گردید:

$$Y= \beta_0 + \beta_1x_1+ \beta_2x_2 + \beta_3x_1^2 + \beta_4x_2^2 + \beta_5x_1x_2 \quad (4)$$

که در این فرمول Y= پاسخ پیش‌بینی شده، β_0= ضریب ثابت، β_1 و β_2= اثرات خطی، β_3 و β_4= اثر مربعات و β_5= اثر متقابل می‌باشند. در ضمن، به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، به‌دست آوردن ضرایب مدل و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ از نرم‌افزار مطلب (نسخه 8/1) استفاده شد. تمامی آزمون‌های این پژوهش حداقل دوبار تکرار شدند

نتایج و بحث

اعمال حرارت‌دهی خشک برای ایجاد کونژوگه پروتئین– بسیارقندی

همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد از دو مدت زمان مختلف برای ایجاد واکنش میلارد بین صمغ‌های بومی با ایزوله پروتئین‌های سرمی (پروتئین‌های کروی) و کازئینات سدیم (پروتئین با ساختاری نسبتا باز) استفاده شد که دلیل این مطلب، تفاوت در شکل فضایی این پروتئین‌ها بود، چرا که طبق مطالعاتی که پیش‌تر صورت گرفته است شکل فضایی مولکول‌های پروتئین و نیز وزن مولکولی بسیارقندی نقش مهمی را در ایجاد کونژوگه به روش میلارد ایفا می‌کند (Liu *et al*., 2012; Wooster *et al*., 2007).

همانگونه که در شکل 1 نشان داده شده است اعمال حرارت‌دهی به روش خشک سبب تغییر رنگ نمونه‌ها به رنگ‌های متمایل به زرد و قهوه‌ای شده است. تغییر رنگ نمونه‌ها از سفید به زرد نشان‌دهنده تشکیل محصولات آمادوری و واکنش‌های بعدی مربوط به قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی است (Koshani *et al*., 2015; O’Regan *et al*., 2009).

بهینه‌سازی میزان واکنش میلارد به روش خشک

تعیین گروه‌های آمین آزاد روش متداولی برای تخمین پیشرفت واکنش میلارد است. با این آزمون می‌توان میزان اتصال پروتئین‌ها به بسیارقندی‌ها (تشکیل کونژوگه) از طریق کاهش میزان گروه‌های آمین آزاد پی برد (Wang *et al*., 2012; Guan *et al*., 2010). جدول 3 طراحی آزمون‌ها براساس مدل طرح مرکب مرکزی با دو متغیر (نسبت پروتئین: بسیارقندی و زمان حرارت‌دهی) به همراه نتایج (درجه جایگزینی گروه‌های آمین آزاد و میزان تغییر رنگ) را برای کونژوگه پروتئین‌های شیر–بخش محلول صمغ‌های بومی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در مورد درجه جایگزینی گروه‌های آمین آزاد هدف رسیدن به محدوده‌ای با بیشینه این پاسخ بود؛ در حالی‌که، در مورد میزان تغییر رنگ، هدف رسیدن به محدوده کمینه این پاسخ بود تا رنگ محصول تا حد امکان تحت تاثیر قرار نگیرد. مقایسه درجه جایگزینی گروه‌های آمین آزاد در نمونه‌های دارای تراگاکانتین و بخش محلول صمغ فارسی نشان داد که در حضور پروتئین‌های یکسان، میزان جایگزینی در نمونه‌های دارای بخش محلول صمغ فارسی بیشتر از تراگاکانتین بوده است (جدول3 و شکل 2). توانایی بیشتر بخش محلول صمغ فارسی برای برقراری اتصال کوالانسی با پروتئین‌ها ممکن است ناشی از سه تفاوت در ساختار این دو صمغ بومی باشد.

اول اینکه، احتمالا شاخه‌های جانبی بیشتری در ساختار تراگاکانتین در مقایسه با بخش محلول صمغ فارسی وجود داشته که پس از اتصال پروتئین به بسیارقندی، تراکم شاخه‌های جانبی از طریق دافعه فضایی از ایجاد واکنش‌های بعدی جلوگیری کرده است. در مورد ساختار صمغ کتیرا و تراگاکانتین گفته شده است که دارای شاخه‌های جانبی بسیاری هستند و در مدل ارایه شده برای ساختار کتیرا، تک‌قندی‌های سازنده شاخه اصلی تقریبا به طور یک در میان دارای شاخه جانبی هستند (Tischer *et al*., 2002; Weiping *et al*., 2000). در مورد ساختار صمغ فارسی اشاره شده است که شاخه اصلی از گالاکتوز و آرابینوز با نسبت تقریبی 1:2 ساخته شده و حضور بقایای قندی گالاکتوپیرانوزیل (6–1) و آرابینوفورانوزیل (3–1) در شاخه‌های جانبی اثبات شده است (Abbasi *et al*., 2015).

---

1 Response surface methodology
2 Central composite design
3 Central composite circumscribed

طبق مطالعات پیشین نیز نشان می‌دهند که حضور شاخه‌های جانبی در ساختار بسیارقندی‌ها به کندتر شدن سرعت واکنش میلارد منجر می‌شود (Xu *et al.*, 2010; Dunlap *et al.*, 2005).

جدول 1- نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آن‌ها.

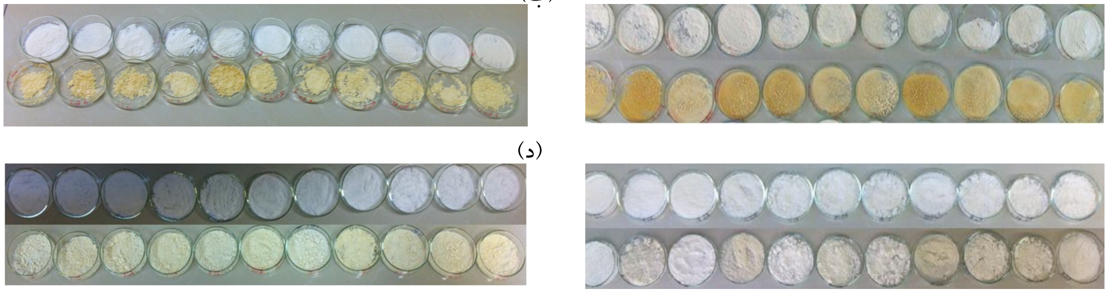
متغیرهای مستقل	علائم		سطوح				
	Uncoded	Coded	-1/41	-1	0	+1	+1/41
نسبت بسپارهای زیستی (وزنی/وزنی)	X_1	x_1	1:1/59	1:2	1:3	1:4	1:4/41
زمان (روز)[1]	X_2	x_2	2/36	4	8	12	13/64
زمان (ساعت)[2]	X_2	x_2	2/18	3	5	7	7/82

زمان برحسب روز متغیرمستقل برای نمونه‌های تهیه شده از پروتئین‌های سرمی شیر بود.

زمان برحسب ساعت متغیرمستقل برای نمونه‌های تهیه شده از کازئینات سدیم بود.

جدول 2- نمایش طراحی آزمون براساس مدل طرح مرکب مرکزی با دو متغیر

شماره آزمون	مقادیر متغیرها	
	x_1	x_2
1	-1	-1
2	-1	+1
3	+1	-1
4	+1	+1
5	-1/41	0
6	+1/41	0
7	0	-1/41
8	0	+1/41
9	0	0
10	0	0
11	0	0



شکل 1- شکل ظاهری نمونه‌ها قبل (ردیف بالا) و بعد (ردیف پایین) از تیمار حرارتی به روش خشک. 11 تیمار هر سامانه از چپ به راست نمایش داده شده‌اند. (الف) کازئینات سدیم-بخش محلول صمغ فارسی، (ب) ایزوله پروتئین‌های سرمی-بخش محلول صمغ فارسی، (ج) کازئینات سدیم-تراگاکانتین و (د) ایزوله پروتئین‌های سرمی-تراگاکانتین.

دومین علت تفاوت عملکرد بخش محلول صمغ فارسی ممکن است ناشی از تفاوت در وزن مولکولی بخش محلول صمغ فارسی و تراگاکانتین باشد. گفته می‌شود که بسیارقندی‌ها با وزن مولکولی بالاتر با سرعت کمتری در واکنش میلارد شرکت می‌کنند (Liu *et al.*, 2012; Kato, 2002). محققان اشاره کرده‌اند که با افزایش وزن مولکولی قندها، درجه جایگزینی کاهش می‌یابد (Li *et al.*, 2009). هم‌چنین، گزارش شده است که در ایجاد کونژوگه پروتئین‌های شیر-دکستران درصورت استفاده از دکستران با وزن مولکولی پایین‌تر

(10000 دالتون) مقدار کونژوگه بیشتری در مقایسه با استفاده از دکستران با وزن مولکولی بالاتر (20000 دالتون) تولید شده است (Jimenez-Castano *et al.*, 2007). طبق بررسی‌های پیشین، هر چه وزن مولکولی بسیارقندی بیشتر باشد زمان لازم برای تشکیل باز شیف نیز بیشتر خواهد بود (Zhu *et al.*, 2010)؛ از این‌رو، سرعت تشکیل کونژوگه و قهوه‌ای شدن با افزایش وزن مولکولی کاهش می‌یابد (Xu *et al.*, 2010). در مورد وزن مولکولی تراگاکانتین اشاره شده است که مقدار آن $5/02\times10^5$ (Hoagland *et al.*, 1993) و $1/6\times10^6$ دالتون می‌باشد (Mohammadifar *et al.*, 2006). اگرچه وزن مولکولی بخش محلول صمغ فارسی در منابع یافت نشد تا با تراگاکانتین مورد مقایسه قرار گیرد، ولی در مورد صمغ فارسی (درجه 1) اشاره شده است که دارای وزن مولکولی $4/74\times10^6$ دالتون است (Fadavi *et al.*, 2014). این در حالی است که وزن مولکولی صمغ کتیرا 840 کیلودالتون ذکر شده است (Balaghi *et al.*, 2010).

سومین علت می‌تواند مربوط به ساختار فضایی این بسپارها (سخت بودن یا انعطاف‌پذیر بودن) آن‌ها مربوط باشد. انعطاف ناپذیر بودن ساختار تراگاکانتین قبلا به اثبات رسیده است (Mohammadifar *et al.*, 2006).

جدول 3- نمایش طراحی آزمون‌ها براساس مدل طرح مرکب مرکزی با دو متغیر (نسبت پروتئین به بسیارقندی و زمان) به‌همراه نتایج (درجه جایگزینی گروه‌های آمین آزاد (Y_1) و میزان تغییر رنگ (Y_2)) برای تشکیل کونژوگه ایزوله پروتئین‌های شیر–بخش محلول صمغ‌های بومی.

آزمون	کد متغیرها		نتایج آزمون							
			WPI–SFPG		WPI–SFGT		CN–SFPG		CN–SFGT	
	x_1	x_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
1	-1	-1	16/56±1/62	18/50	9/26±0/32	6/73	18/65±0/88	12/99	7/14±0/88	6/68
2	-1	+1	30/35±1/18	19/75	14/75±0/61	6/88	33/42±0/65	24/07	20/78±0/97	17/25
3	+1	-1	14/19±0/29	17/85	10/94±0/83	9/45	15/62±1/91	10/42	7/26±0/62	6/41
4	+1	+1	26/24±1/19	16/73	17/15±0/92	10/75	25/16±2/43	15/61	18/45±0/87	14/13
5	-1/41	0	32/37±1/70	21/91	13/03±0/19	8/82	29/31±0/89	19/90	15/87±0/57	6/86
6	+1/41	0	24/67±0/57	18/05	12/61±0/58	11/12	21/32±1/50	21/08	14/26±0/59	7/70
7	0	-1/41	10/49±2/04	15/18	10/34±0/37	7/46	16/80±1/78	10/29	10/16±0/73	6/10
8	0	+1/41	23/52±0/63	13/65	19/82±0/68	14/67	33/07±0/54	22/54	21/95±1/79	15/58
9	0	0	19/23±0/56	18/08	15/33±0/74	9/86	28/01±0/69	15/13	13/76±1/34	7/12
10	0	0	21/57±0/42	16/96	14/13±0/12	8/45	28/52±0/51	17/37	17/31±0/59	8/03
11	0	0	20/06±0/39	14/69	14/72±0/30	11/44	26/06±1/48	18/39	16/23±0/44	7/41

معادله‌ها (مدل‌های) چند جمله‌ای درجه دوم زیر که از نتایج تجزیه واریانس برای آزمایش بهینه‌سازی درجه جایگزینی گروه‌های آمین آزاد به‌دست آمده‌اند ارتباط متغیرهای مستقل را با پاسخ (درجه جایگزینی) برای (1) ایزوله پروتئین‌های سرمی–بخش محلول صمغ فارسی، (2)، کازئینات سدیم–بخش محلول صمغ فارسی (3) ایزوله پروتئین‌های سرمی–تراگاکانتین و (4) کازئینات سدیم–تراگاکانتین نشان می‌دهند.

$$Y=40/664-24/708x_1+3/6015x_2+3/9009x_1^2-0/11811x_2^2-0/10875x_1x_2 \quad (5)$$

$$Y=-9/8271+7/9309x_1+8/9526x_2-1/3439x_1^2-0/4467x_2^2-0/5288x_1x_2 \quad (6)$$

$$Y=-2/7402+7/2313x_1+0/7062x_2-1/1923x_1^2-0/0035x_2^2+0/045x_1x_2 \quad (7)$$

$$Y=-10/701+6/354x_1+4/5159x_2-0/8974x_1^2-0/09986x_2^2-0/30625x_1x_2 \quad (8)$$

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای آزمایش بهینه‌سازی درجه جایگزینی گروه‌های آمین آزاد نشان داد که مدل‌های ارایه شده برای هر چهار حالت پروتئین‌های شیر–بخش محلول صمغ‌های بومی معنی‌دار بوده ($p<0/05$)، دارای ضریب تعیین بالایی ($R^2 \geq 0/9$) بوده و دوری از برازش (Lack of fit) نیز در هر چهار ترکیب معنی‌دار نبود (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). لذا، مدل‌های به‌دست آمده می‌توانند برای پیش‌گویی درجه جایگزینی در محدوده متغیرهای مستقل آزمایش شده مورد استفاده قرار گیرند. مقادیر معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی نیز نشان داد که برای ایزوله پروتئین‌های سرمی– بخش محلول صمغ فارسی، تابع درجه اول نسبت پروتئین: بسیارقندی و زمان حرارت‌دهی تاثیر معنی‌دار بر درجه جایگزینی گروه‌های آمین آزاد داشته‌اند ($p<0/05$) (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). به‌عبارت دیگر، با توجه به ضرایب به‌دست آمده یک رابطه خطی و معکوس بین نسبت پروتئین:بسیارقندی و درجه جایگزینی و نیز یک رابطه خطی و مستقیم میان مدت زمان حرارت‌دهی و درجه جایگزینی برقرار است

که هرچه میزان بسیارقندی کاهش و زمان حرارت‌دهی افزایش یابد میزان درجه جایگزینی افزایش می‌یابد. بررسی اثر مربعات نیز حاکی از آن است که متغیرهای مستقل به صورت تابع درجه دوم نیز بر میزان درجه جایگزینی اثر دارند. نتایج هم‌چنین نشان می‌دهند که اثر متقابل این دو متغیر مستقل بر میزان درجه جایگزینی معنی‌دار نمی‌باشد (p>0/05).

برخلاف سایر نمونه‌ها، در مورد کازئینات سدیم–تراگاکانتین، نتایج آزمایشات حاکی از معنی‌دار نبودن ضرایب بر میزان درجه جایگزینی بود (p>0/05). شاید ساختار سخت و دارای شاخه‌های جانبی زیاد تراگاکانتین از طریق ایجاد ممانعت فضایی از اتصال دو مولکول نین‌هیدرین توسط گروه آمین آزاد جلوگیری کرده است. این اتصال اساس اندازه‌گیری میزان آمین آزاد در روش به‌کار رفته برای سنجش درجه جایگزینی است. بنابراین، شاید بهتر باشد در نمونه‌های دارای تراگاکانتین برای اندازه‌گیری میزان آمین آزاد از سایر معرف‌ها مانند ارتو-فتال دی‌آلدئید (OPA) و تری نیترو بنزن سولفونیک اسید (TNBS) استفاده شود. شکل 2 تاثیر تغییر مقدار بسیارقندی و زمان حرارت‌دهی بر درجه جایگزینی را به‌صورت منحنی‌های سطح پاسخ و کانتور برای پروتئین‌های شیر–بخش محلول صمغ‌های بومی نشان می‌دهد. در مورد ایزوله پروتئین‌های سرمی–بخش محلول صمغ فارسی مشاهده می‌شود که در یک نسبت ثابت پروتئین:بسیارقندی افزایش دما سبب افزایش درجه جایگزینی می‌شود. وجود رابطه مستقیم بین مدت زمان حرارت‌دهی و درجه جایگزینی می‌تواند به باز شدن نسبی ساختار پروتئین‌های سرمی و در معرض قرار گرفتن گروه‌های فعال برای واکنش با بسیارقندی مربوط باشد. کاهش گروه‌های آمین آزاد با افزایش زمان حرارت‌دهی در سایر تحقیقات نیز مشاهده شده است (Koshani *et al*., 2015; Al-Hakkak *et al*., 2010).

همچنین، مشاهده می‌گردد که در یک زمان ثابت، افزایش مقدار بسیارقندی در ابتدا تاثیر کاهنده روی درجه جایگزینی دارد، ولی افزایش بیشتر مقدار بسیارقندی سبب افزایش درجه جایگزینی می‌شود. علت برقرار بودن رابطه معکوس (تا یک حد مشخصی از بسیارقندی) بین بسیارقندی و درجه جایگزینی را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که احتمالا تراکم بسیارقندی و شاخه‌های جانبی آن از طریق ممانعت فضایی از نزدیک شدن و اتصال گروه‌های فعال پروتئین و بسیارقندی جلوگیری می‌کنند. بنابراین، هرچه میزان بسیارقندی کمتر باشد امکان ایجاد واکنش میلارد بین دو بسپار زیستی بیشتر می‌شود. ولی، همان‌گونه که اشاره شد پس از یک روند کاهشی، یک روند افزایشی در درجه جایگزینی با افزایش مقدار بسیارقندی دیده می‌شود که احتمالا بعد از یک حد مشخص افزایش تراکم بسیارقندی احتمال برقراری اتصال را بالا برده است.

در مورد کازئینات سدیم–بخش محلول صمغ فارسی در یک مقدار ثابتی از بسیارقندی افزایش زمان سبب افزایش درجه جایگزینی شده است. در حالی‌که، در یک زمان ثابت (به‌خصوص در مدت زمان‌های پایین) افزایش مقدار بسیارقندی تاثیر چندانی بر درجه جایگزینی نداشت، هر چند در زمان‌های طولانی‌تر افزایش مقدار بسیارقندی روند کاهشی بر درجه جایگزینی نشان داد.

علت این روند متفاوت (در دماهای پایین) در مقایسه با ایزوله پروتئین‌های سرمی–بخش محلول صمغ فارسی شاید ناشی از تفاوت در ساختار پروتئین‌ها باشد؛ چون برخلاف ایزوله پروتئین‌های سرمی، کازئینات سدیم تقریبا ساختاری تانخورده‌ای داشته و اتصال پروتئین و بسیارقندی با سهولت بیشتری انجام می‌گیرد. لذا، احتمالا بسیارقندی‌های متصل شده از طریق دافعه فضایی از نزدیک شدن و اتصال سایر بسیارقندی‌ها به گروه‌های آمین آزاد پروتئین جلوگیری می‌کنند (Wong *et al*., 2011) و فرقی نمی‌کند چه مقدار بسیارقندی در ابتدا اضافه شده باشد. در مورد ایزوله پروتئین‌های سرمی–تراگاکانتین در یک نسبت پروتئین: بسیارقندی ثابت، افزایش زمان حرارت‌دهی سبب افزایش درجه جایگزینی شد و در یک زمان حرارت‌دهی ثابت، در زمان‌های کوتاه‌تر افزایش غلظت بسیارقندی تاثیر چندانی بر پاسخ نداشت. در حالی‌که، در زمان‌های طولانی‌تر با افزایش غلظت بسیارقندی در ابتدا یک روند نزولی سپس صعودی در میزان جایگزینی مشاهده شد. در مورد کازئینات سدیم–تراگاکانتین نیز در یک نسبت پروتئین: بسیارقندی ثابت، افزایش زمان حرارت‌دهی افزایش درجه جایگزینی را به دنبال داشت. با این وجود، در یک زمان حرارت‌دهی ثابت، افزایش غلظت بسیارقندی تفاوت چندانی در میزان پاسخ ایجاد نکرد.

بررسی میزان رنگ کونژوگه‌های ایجاد شده به روش خشک

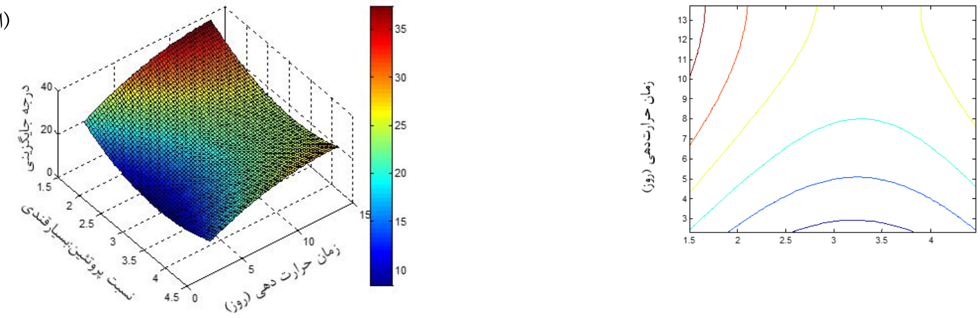
نتایج حاصل از مطالعه میزان رنگ کونژوگه پروتئین‌های شیر–بخش محلول صمغ‌های بومی قبل و بعد از اعمال حرارت نشان داد که اعمال حرارت به روش خشک به کاهش L^* و افزایش a^* و b^* منجر شد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

پیش‌تر نیز گزارش شده است که ایجاد کونژوگه کازئینات سدیم–مالتودکسترین سبب کاهش L^* و افزایش a^* و b^* گردید (Li *et al*., 2015; O’Regan *et al*., 2009). محققین تاکید کرده‌اند که گرچه ایجاد کونژوگه پروتئین–بسیارقندی در بهبود عملکرد پروتئین موثر است، ولی رنگ ایجاد شده نبایستی رنگ محصول را تحت تاثیر قرار دهد (Yadav *et al*., 2010). طبق نتایج به‌دست آمده از بررسی تغییر رنگ برای ایزوله پروتئین‌های سرمی– بخش محلول صمغ فارسی معادله زیر می‌تواند برای پیشگویی میزان تغییرات رنگ با استفاده از متغیرهای مستقل در محدوده مورد آزمایش با ضریب اطمینان 95 درصد (p<0/0495) مورد استفاده قرار گیرد (نتایج تجزیه

واریانس و مقادیر معنی‌دار بودن متغیرها برای آزمایش بهینـه‌سـازی میزان تغییر رنگ آورده نشده‌اند)

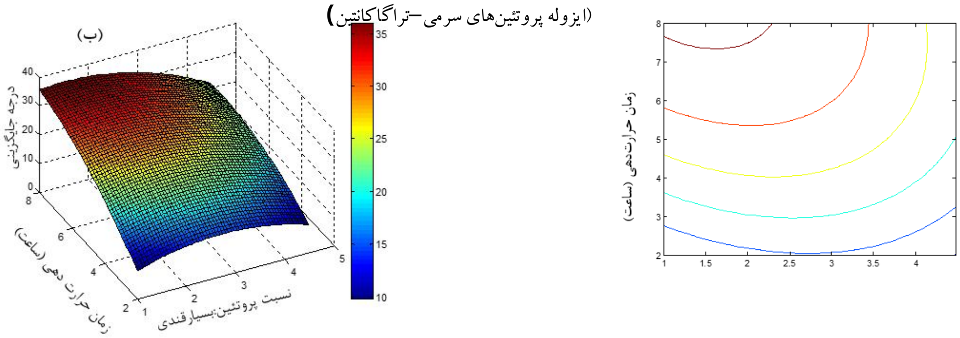
(ایزوله پروتئین‌های سرمی–بخش محلول صمغ فارسی)

(الف)



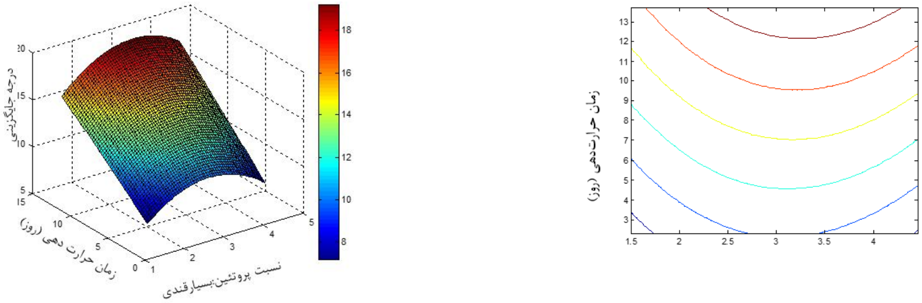
(ایزوله پروتئین‌های سرمی–تراگاکانتین)

(ب)



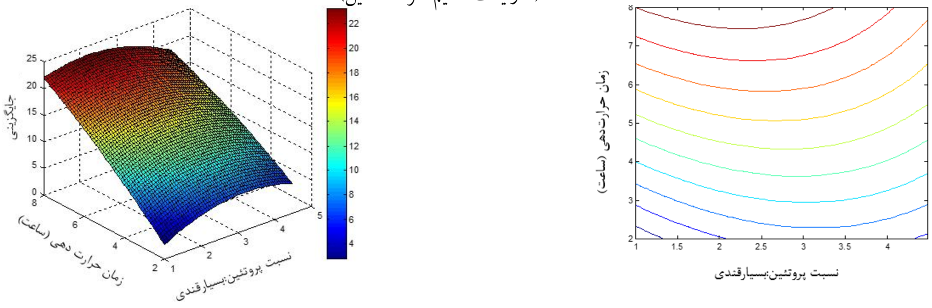
(کازئینات سدیم–بخش محلول صمغ فارسی)

(ج)

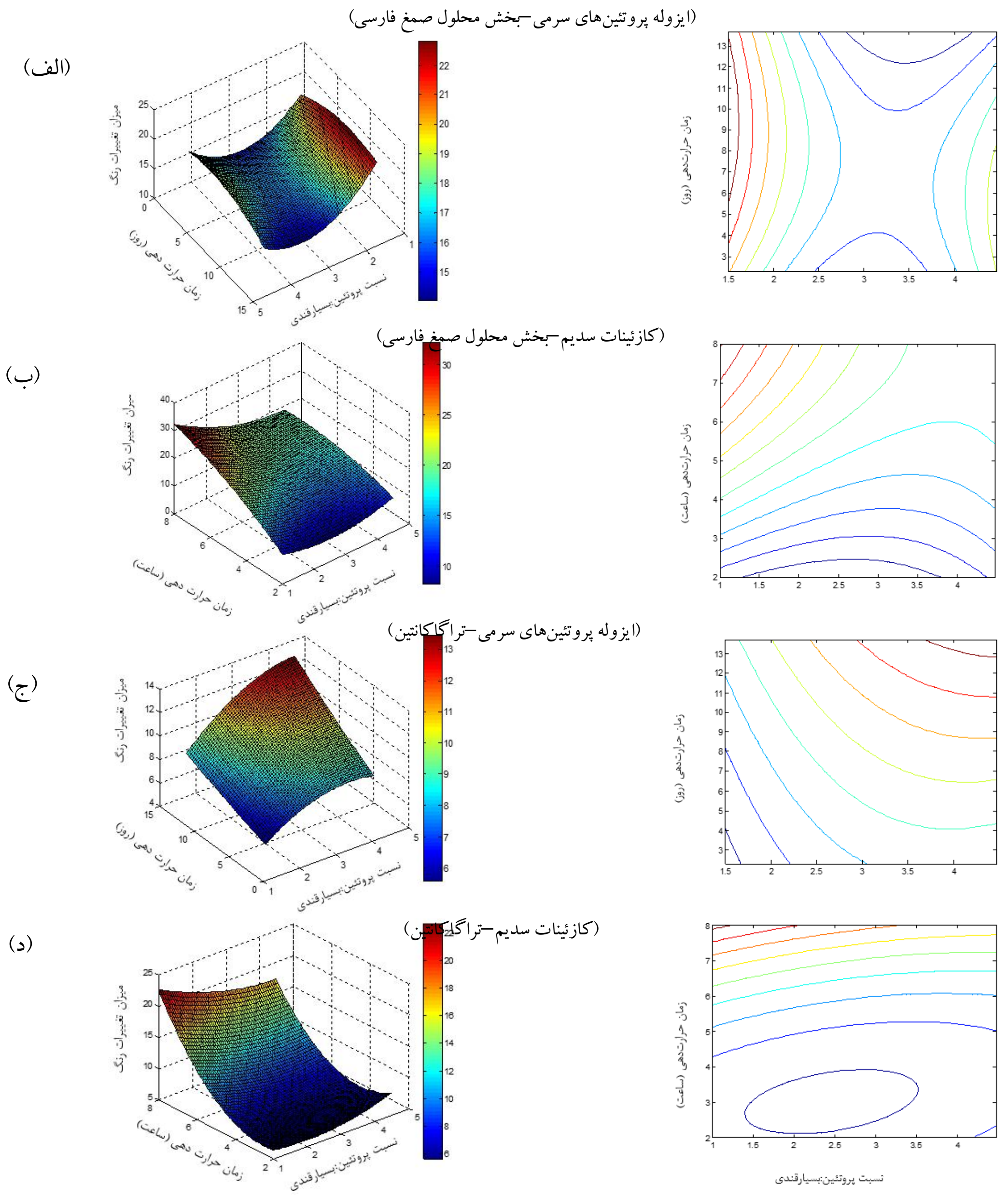


(کازئینات سدیم–تراگاکانتین)

(د)



شکل 2- منحنی‌های سطح پاسخ و کانتور برای بررسی هم‌زمان اثر نسبت پروتئین: بسیارقندی و زمان حرارت‌دهی بر میزان درجه جایگزینی گروه‌های آمین آزاد. مقدار بسیارقندی در این شکل به ازاء 1 قسمت پروتئین می‌باشد.



شکل 3. منحنی‌های سطح پاسخ و کانتور برای بررسی هم‌زمان اثر نسبت پروتئین: بسیارقندی و زمان حرارت‌دهی بر میزان تغییر رنگ. مقدار بسیارقندی در این شکل به ازاء 1 قسمت پروتئین می‌باشد.

$$Y=31/296-11/741x_1+1/2133x_2+1/9642x_1^2-0/051993x_2^2-0/14824x_1x_2 \quad (9)$$

اثرات خطی و درجه دوم نسبت پروتئین:بسیارقندی در مورد این نمونه معنی‌دار بود؛ در حالی‌که، اثرات خطی و درجه دوم مدت زمان حرارت‌دهی و اثر متقابل نسبت پروتئین: بسیارقندی و مدت زمان حرارت‌دهی تاثیر معنی‌داری بر پاسخ ندارند. در مورد نمونه‌های کازئینات سدیم–بخش محلول صمغ فارسی و ایزوله پروتئین‌های سرمی–تراگاکانتین معادلات به‌دست آمده از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند ($p>0/05$). در رابطه با کازئینات سدیم–تراگاکانتین اگرچه $p<0/01025$ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن مدل بود، ولی از آن‌جایی که

دوری از برازش نیز از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد استفاده از این مدل برای پیشگویی میزان پاسخ قابل اعتماد نمی‌باشد.

بنابراین، به‌نظر می‌رسد جز در مورد ایزوله پروتئین‌های سرمی–بخش محلول صمغ فارسی، در مورد سایر نمونه‌ها نمی‌توان با داشتن معادله‌ای میزان تغییر رنگ را تخمین زد. شکل 3 منحنی‌های سطح پاسخ و کانتور را برای بررسی هم‌زمان اثر نسبت پروتئین: بسیارقندی و زمان حرارت‌دهی بر میزان تغییر رنگ نشان می‌دهند. طبق گزارش پژوهش‌گران، کاهش در گروه‌های آمین آزاد با افزایش شدت قهوه‌ای شدن همراه است (Li *et al*., 2013; Xu *et al*., 2010). از طرف دیگر، بیان شده است که اتصال پروتئین و بسیارقندی از طریق واکنش میلارد بدون مشاهده رنگ قهوه‌ای نیز امکان دارد، زیرا این واکنش در مرحله ابتدایی واکنش میلارد اتفاق می‌افتد و شدت رنگ قهوه‌ای لزوما ارتباطی با مقدار ایجاد کونژوگه ندارد (Lievonen *et al*., 2002).

تاثیر کونژوگه‌های ایجاد شده به روش خشک در پایداری امولسیون‌ها

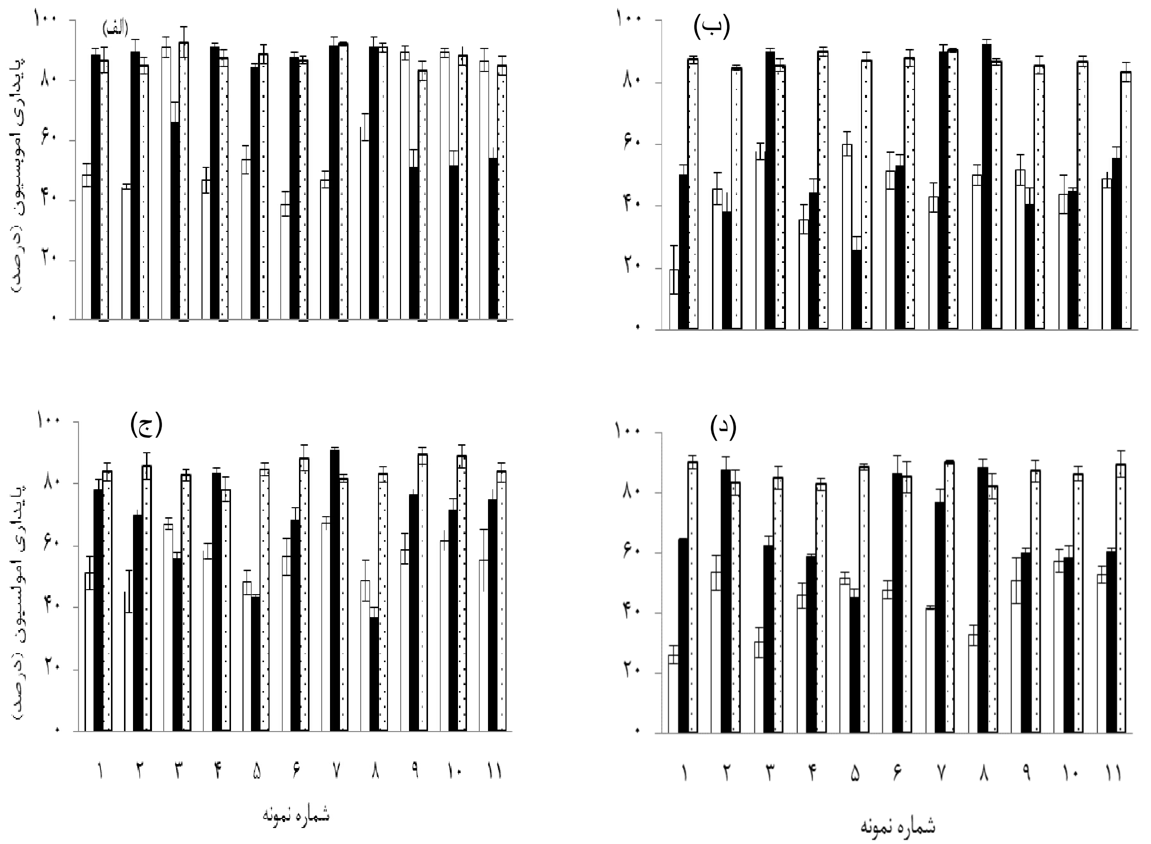
شکل 4 میزان پایداری امولسیون‌های تهیه شده با استفاده از کونژوگه پروتئین‌های شیر–بخش محلول صمغ‌های بومی را در pHهای مختلف (3، 5 و 7) نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود امولسیون‌های تهیه شده با استفاده از کونژوگه پروتئین‌ها–بسیارقندی‌ها در هیچ یک از pHها دارای پایداری کامل نبودند. نکته جالب این‌که در امولسیون‌های بر پایه ایزوله پروتئین‌های سرمی (نمونه‌های شاهد) در شرایط یکسان با این امولسیون‌ها (دارای 4 درصد وزنی/ وزنی روغن و 0/4 درصد پروتئین) در pHهای 3 و 7 پایداری کامل دیده شد (Azarikia *et al*., 2016)؛ در حالی‌که، حضور کونژوگه پروتئین– بسیارقندی به ناپایداری امولسیون‌ها در این pHها منجر شد. احتمالا بسیارقندی متصل شده به پروتئین مانند سدی از اتصال بخش‌های آب‌گریز پروتئین به گویچه‌های چربی ممانعت کرده است. ساختار انعطاف‌ناپذیر تراگاکانتین نیز احتمال حبس شدن پروتئین‌ها در ساختار این بسیارقندی را بیشتر می‌کند؛ لذا، به‌علت ممانعت فضایی ایجاد شده پروتئین قادر نبود تا به خوبی نقش خود را به‌عنوان امولسیون‌کننده ایفا کند. احتمالا همین حالت در مورد بخش محلول صمغ فارسی به علت داشتن شاخه‌های جانبی نیز صادق باشد. سایر محققان نیز به این نکته اشاره داشته‌اند که اتصال بسیارقندی به پروتئین می‌تواند به کاهش عملکرد پروتئین در پایدارسازی امولسیون (به‌خصوص در pH پایین‌تر از نقطه ایزوالکتریک) منجر شود. این پژوهش‌گران گزارش کردند که احتمال وقوع واکنش الکترواستاتیک بین بسپارهای زیستی دارای بار مخالف در pHهای اسیدی باعث می‌شود که در سامانه دافعه الکترواستاتیک ضعیف‌تری در مقایسه با حالتی است که پروتئین به تنهایی در لایه بین سطحی روغن و آب قرار دارد وجود داشته باشد (Ettelaie *et al*., 2014). در پژوهش حاضر نیز مقایسه میزان ناپایداری در pHهای مختلف نشان داد که تقریبا در تمامی نمونه‌ها بیشترین میزان ناپایداری امولسیون‌ها در pH 3 مشاهده شد. از آن‌جایی‌که در این pH پروتئین دارای بار مثبت بیشتری در مقایسه با سایر pHها است، احتمالا واکنش الکترواستاتیک قوی بین گروه‌های دارای بار مثبت پروتئین و گروه‌های کربوکسیل بسیارقندی‌ها ایجاد شده که به حبس شدن بیشتر پروتئین داخل مولکول‌های بسیارقندی منجر شده است و از اتصال پروتئین با روغن ممانعت به‌عمل آمده است. در pH 7 نیز احتمالا تهی‌سازی تجمعی (Depletion flocculation) به‌علت حضور بسیارقندی‌های موجود در فاز پیوسته، در توده‌ای شدن گویچه‌های چربی موثر بوده است.

از دلایل احتمالی دیگر که ممکن است در عدم پایداری کامل امولسیون‌ها نقش داشته است می‌توان به این عوامل اشاره کرد: (الف) اعمال فراصوت باعث شکستن ساختار بسیارقندی‌ها، کاهش کارایی آن‌ها در ایجاد دافعه فضایی و نیز کاهش گرانروی شده است. (ب) اعمال فراصوت بخشی از پیوند کووالانسی ایجاد شده طی واکنش میلارد بین پروتئین و بسیارقندی را شکسته است که البته این موضوعات نیاز به انجام بررسی‌های بیشتری دارد.

پژوهش‌گران دیگری نیز بر مفید نبودن استفاده از کونژوگه پروتئین–بسیارقندی بر پایداری امولسیون‌ها تاکید داشته‌اند. در این راستا بیان شده است که وزن مولکولی بسیارقندی متصل شده نیز در ایجاد یا عدم ایجاد پایداری امولسیون نقش دارد؛ طوری‌که، ایجاد کونژوگه آلبومین سرم گاوی با دکستران با وزن مولکولی بالا (50000 دالتون) ویژگی امولسیون‌کنندگی را بهبود نداد، ولی ایجاد کونژوگه با دکستران با وزن مولکولی پایین (4000 دالتون) اثر مثبت بر پایداری داشت. این محققین گزارش کرده‌اند که کونژوگه دکستران با بتاکازئین که یک پروتئین مارپیچ تصادفی انعطاف‌پذیر است بر رفتار امولسیون‌کنندگی پروتئین اثر منفی داشت. دلیل آن مربوط به اندازه بزرگ دکستران متصل شده به پروتئین بوده است که به‌طور فضایی مانع اتصال گروه‌های آب‌گریز پروتئین به سطح مشترک روغن–آب شده و در نتیجه فعالیت سطحی پروتئین و سرعت جذب سطحی شدن آن را کاهش داده است (Dickinson *et al*., 1992). گروهی از پژوهش‌گران نیز معتقدند که ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی در مراحل اولیه واکنش میلارد افزایش یافته ولی افزایش زمان و پیشرفت واکنش می‌تواند به کاهش این ویژگی منجر شود (Li *et al*., 2009) که علت آن کاهش خاصیت آب‌گریزی پروتئین در اثر پیشرفت واکنش است (Li *et al*., 2013).

البته باید اشاره کرد که برخلاف نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، محققان افزایش پایداری امولسیون‌ها با استفاده از کونژوگه پروتئین‌ها و بسیارقندی‌ها را نیز گزارش کرده‌اند (Koshani *et al*.,

2015; Cheetangdee *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2014; Wong *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2009; Wooster *et al.*, 2007; Neirynck *et al.*, 2004؛ 2006). احتمالا تفاوت در روش همگن‌سازی طی تهیه امولسیون در تحقیق حاضر و پژوهش‌های پیشین یکی از دلایل عمده این اختلاف بوده است. لازم به ذکر است که بررسی پایداری در pHهای مختلف نیز حاکی از پایدار نبودن در تمامی pHها بوده است؛ طوری‌که، استفاده از کونژوگه ایزوله پروتئین‌های سرمی-پکتین در تولید امولسیون در pH 5/5 در پایداری امولسیون موثر بود، ولی در pH 4 تاثیر مثبتی بر پایداری نداشته است (Neirynck *et al.*, 2004).



شکل 4- نمایش میزان پایداری امولسیون‌های تهیه شده با کونژوگه پروتئین-بسیارقندی‌های تشکیل شده به روش خشک. میزان روغن آفتابگردان 4 درصد وزنی/ وزنی و مقدار کونژوگه‌ها طوری محاسبه شد که در تمامی نمونه‌ها 0/4 درصد پروتئین وجود دارد. الف) کونژوگه ایزوله پروتئین‌های سرمی-بخش محلول صمغ فارسی، ب) کونژوگه کازئینات سدیم-بخش محلول صمغ فارسی، ج) کونژوگه ایزوله پروتئین‌های سرمی-تراگاکانتین و د) کونژوگه کازئینات سدیم-تراگاکانتین. در این شکل: □ پ‌هاش 3، ■ pH 5 و ⊡ پ‌هاش 7.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در ایجاد کونژوگه پروتئین‌های شیر-بخش محلول صمغ‌های بومی هرچه مدت زمان حرارت‌دهی بیشتر و نسبت بسیارقندی: پروتئین کمتر باشد پیشرفت واکنش میلارد (به‌ویژه در مورد پروتئین‌های شیر-بخش محلول صمغ فارسی) بیشتر بود. پیشرفت واکنش میلارد به روش خشک در تراگاکانتین در مقایسه با بخش محلول صمغ فارسی کمتر بود که علت آن احتمالا وجود شاخه‌های جانبی، وزن مولکولی بیشتر و ساختار سفت تراگاکانتین است که از طریق دافعه فضایی و عدم انعطاف‌پذیری از اتصال‌های بعدی بین پروتئین و بسیارقندی جلوگیری نموده است. کونژوگه‌های پروتئین‌های شیر-بخش محلول صمغ‌های بومی قادر به پایدارکردن امولسیون‌ها نبودند که علت آن ممکن است به همگن‌سازی با امواج فراصوت، شکستن ساختار بسیارقندی یا اتصال ایجاد شده بین پروتئین و بسیارقندی بوده باشد. همچنین، احتمالا بسیارقندی از

طریق محبوس کردن پروتئین و ایجاد ممانعت فضایی، سبب از دسترس خارج شدن گروه‌های آب‌گریز پروتئین برای اتصال به مولکول‌های روغن شده است.

منابع

صادقیان، ع.، کدخدایی، ر.، فرهوش، ر.، کوچکی، آ. و نجف نجفی، م.، 1392، بررسی تاثیر کونژوگه پروتئین آب پنیر–نشاسته بر شاخص‌های کیفی امولسیون روغن در آب، نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، 2، 139–152.

Abbasi, S. & Rahimi, S., 2015, Persian Gum. In S. Mishra (Ed.), Encyclopedia of Biomedical Polymers and Polymeric Biomaterials, *Taylor & Francis Group* LLC. USA

Akhtar, M. & Dickinson, E., 2003, Emulsifying properties of whey protein–dextran conjugates at low pH and different salt concentrations. Colloids and Surfaces B: *Biointerfaces*, 31, 125–132.

Al-Hakkak, J. & Al-Hakkak, F., 2010, Functional egg white–pectin conjugates prepared by controlled Maillard reaction. *Journal of Food Engineering*, 100, 152–159.

Azarikia, F. & Abbasi, S., 2010, On the Stabilization Mechanism of Doogh (Iranian yoghurt drink) by Gum Tragacanth. *Food Hydrocolloids*, 24, 358–363.

Azarikia, F. & Abbasi, S., 2016, Efficacy of whey protein–tragacanth on stabilization of oil-in-water emulsions: Comparison of mixed and layer by layer methods. *Food Hydrocolloids*, 59, 26–34.

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, 59–71.

Cheetangdee, N. & Fukada, K., 2014, Emulsifying activity of bovine β-lactoglobulin conjugated with hexoses through the Maillard reaction. Colloids and Surfaces A: *Physicochemical and Engineering Aspects*, 450, 148–155.

Chen, H., Jin, Y., Ding, X., Wu, F., Bashri, M., Chen, F., Cui, Z. & Xu, X., 2014, Improved the emulsion stability of phosvitin from hen egg yolk against different pH by the covalent attachment with dextran. *Food Hydrocolloids*, 39, 104–112.

Chung, C., Rojanasasithara, T., Mutilangi, W. & McClements, D. J., 2015, Enhanced stability of anthocyanin-based color in model beverage systems through whey protein isolate complexation. *Food Research International*, 76, 761–768.

Dickinson, E. & Semenova, M. G., 1992, Emulsifying properties of covalent protein–dextran hybrids. *Colloids and Surfaces*, 64, 299–310.

Doi, E., Shibata, D. & Matoba, T., 1981, Modified colorimetric ninhydrin methods for peptidase assay. *Analytical Biochemistry*, 118, 173–184.

Dunlap, C. A. & Cote, G. L., 2005, β-Lactoglobulin–dextran conjugates: Effect of polysaccharide size on emulsion stability. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 53, 419–423.

Ettelaie, R. & Akinshina, A., 2014, Colloidal interactions induced by overlap of mixed protein + polysaccharide interfacial layers. *Food Hydrocolloids*, 42, 106–117.

Fadavi, G., Mohammadifar, M. A., Zargarran, A., Mortazavian, A. M. & Komeili, R., 2014, Composition and physicochemical properties of Zedo gum exudates from Amygdalus scoparia. *Carbohydrate Polymers*, 30, 1074–1080.

Golkar, A., Nasirpour, A., Keramat, J. & Desobry, S., 2015, Emulsifying properties of Angum gum (Amygdalus scoparia Spach) conjugated to β-Lactoglobulin through Maillard-type reaction. *International Journal of Food Properties*, 18, 2042–2055.

Guan, Y. G., Lin, H., Han, Z., Wang, J., Yu, S. J., Zeng, X., Liu, Y. Y., Xu, C. H. & Sun, W. W., 2010, Effects of pulsed electric field treatment on a bovine serum albumin–dextran model system, a means of promoting the Maillard reaction. *Food Chemistry*, 123, 275–280.

Hoagland, P. D., Fishman, M. L., Konja, G. & Clauss, E., 1993, Size exclusion chromatography with viscosity detection of complex polysaccharides: Component analysis. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 41, 1274–1281.

Jimenez-Castano, L., Villamiel, M. & Lopez-Fandino, R., 2007, Glycosylation of individual whey proteins by Maillard reaction using dextran of different molecular mass. *Food Hydrocolloids*, 21, 433–443.

Kato, A., 2002, Industrial applications of Maillard-type protein–polysaccharide conjugates. *Food Science and Technology Research*, 8, 193–199.

Koshani, R., Aminlari, M., Niakosari, M., Farahnaky, A., & Mesbahi, G., 2015, Production and properties of tragacanthin–conjugated lysozyme as a new multifunctional biopolymer. *Food Hydrocolloids*, 47, 69–78.

Li, C., Wang, J., Shi, J., Huang, X., Peng, Q. & Xue, F., 2015, Encapsulation of tomato oleoresin using soy protein isolate–gum aracia conjugates as emulsifier and coatig materials. *Food Hydrocolloids*, 45, 301–308.

Li, Y., Lu, F., Luo, C., Chen, Z., Mao, J., Shoemaker, C. F. & Zhong, F., 2009, Functional properties of the Maillard reaction products of rice protein with sugar. *Food Chemistry*, 117, 69–74.

Li, Y., Zhong, F., Ji, W., Yokoyama, W., Shoemaker, C. F., Zhu, S. & Xia, W., 2013, Functional properties of Maillard

reaction products of rice protein hydrolysates with mono-, oligo- and polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 30, 53–60.

Lievonen, S. M., Laaksonen, T. J. & Roos, T. H., 2002, Nonenzymatic browning in food models in the vicinity of the glass transition: effects of fructose, glucose, and xylose as reducing sugar. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 7034–7041.

Liu, J., Ru, Q. & Ding, Y., 2012, Glycation a promising method for food protein modification: Physicochemical properties and structure, a review. *Food Research International*, 49, 170–183.

McClements, D. J., 2005, Food emulsions: Principles, practice, and techniques (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.

Mohammadifar, M. A., Musavi, S. M., Kiumarsi, A. & Williamas, P. 2006. Solution properties of targacanthin (water-soluble part of gum tragacanth exudate from *Astragalus gossypinus*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 38: 31–39.

Muppalla, S. R., Sonavale, R., Chawla, S. P. & Sharma, A. 2012. Functional properties of nisin–carbohydrate conjugates formed by radiation induced Maillard reaction. *Radiation Physics and Chemistry*, 81: 1917–1922.

Neirynck, N., van der Meeren, P., Bayarri Gorbe, S., Dierckx, S. & Dewettinck, K., 2004, Improved emulsion stabilizing properties of whey protein isolate by conjugation with pectins. *Food Hydrocolloids*, 18, 949–957.

O'Regan, J. & Mulvihill, D. M. 2009. Preparation, characterisation and selected functional properties of sodium caseinate–maltodextrin conjugates. *Food Chemistry*, 115: 1257–1267.

Tischer, C. A., Iacomini, M. & Gorin, P. A. J. 2002. Structure of the arabinogalactan from gum tragacanth (*Astralagus gummifer*). *Carbohydrate Research*, 337: 1647–1655.

Wang, Q. & Ismail, B. 2012. Effect of Maillard-induced glycosylation on the nutritional quality, solubility, thermal stability and molecular configuration of whey protein. *International Dairy Journal*, 25: 112–122.

Weiping, W. & Branwell, A. 2000. Tragacanth and Karaya. In: G.O. Phillips & Williams, P.A. (Eds.). Handbook of Hydrocolloids. Cambridge: *Woodhead publishing* Ltd., pp, 231–246.

Wong, B. T., Day, L. & Augustin, M. A. 2011. Deamidated wheat protein–dextran Maillard conjugates: Effect of size and location of polysaccharide conjugated on steric stabilization of emulsions at acidic pH. *Food Hydrocolloids*, 25: 1424–1432.

Wooster, T. J. & Augustin, M. A. 2006. β-Lactoglobulin–dextran Maillard conjugates: Their effect on interfacial thickness and emulsion stability. *Journal of Colloid and Interface Science*, 303: 564–572.

Wooster, T. J. & Augustin, M. A. 2007. The emulsion flocculation stability of protein–carbohydrate diblock copolymers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 313: 665–675.

Xu, C. H., Yang, X. Q. Yu, S. J., Qi, J. R., Guo, R., Sun, W. W., Yao, Y. J. & Zhao, M. M. 2010. The effect of glycosylation with dextran chains of differing lengths on the thermal aggregation of β-conglycinin and glycinin. *Food Research International*, 43: 2270–2276.

Xu, D., Wang, X., Jiang, J., Yuan, F. & Gao, Y. 2012. Impact of whey protein–beet pectin conjugation on the physicochemical stability of β-carotene emulsions. *Food hydrocolloids*, 28: 258–266.

Yadav, M. P., Parris, N., Johnston, D. B. Onwulata, C. I. & Hicks, K. B. 2010. Corn fiber gum and milk protein conjugates with improved emulsion stability. *Carbohydrate Polymers*, 81: 476–483.

Yang, Y., Cui, S., Gong, J., Miller, S. S., Wang, Q. & Hua, Y., 2015, Stability of citral in oil-in-water emulsions protected by a soy protein–polysaccharide Maillard reaction product. *Food Research International*, 69, 357–363.

Zhu, D., Damodaran, S. & Lucey, J. A., 2010, Physicochemical and emulsifying properties of whey protein isolate (WPI)–dextran conjugates produced in aqueous solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 2988–2994.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 744-758

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 758-744

Optimization of milk proteins–soluble fraction of Iranian native gums conjugate formation via the Maillard reaction

F. Azarikia[1], Soleiman Abbasi[2*]

Received: 2016.04.19
Accepted: 2016.10.13

Introduction: Maillard reaction is a well-known technique for covalent coupling of protein–polysaccharide which is usually used to improve the functional properties of proteins. Conjugation by the dry heating method is occurred during Amadori rearrangement step in the Maillard reaction where amine groups of the proteins are linked to the reducing end of the polysaccharides. This glycation process leads to the improvement of solubility, foaming and emulsifying properties of proteins (Liu *et al*., 2012). Protein-based emulsions are sensitive to pH and ionic strength alterations as well as heating and freezing–thawing processes. While, joining proteins to high molecular weight polysaccharides protects them against environmental stresses. A wide range of carbohydrates were already utilized to enhance the emulsifying properties of proteins–polysaccharides namely whey protein isolate–dextran (Akhtar *et al*., 2003), *β*-lactoglobulin–dextran (Wooster *et al.*, 2006), sodium caseinate–maltodextrin (O'Regan *et al.*, 2009), deamidated wheat protein–maltodextrin or glucose (Wong *et al.*, 2011), whey protein isolate–pectin (Xu *et al.*, 2012), yolk phosvitin–dextran (Chen *et al.*, 2014), *β*-lactoglobulin–six-carbon monosaccharides (Cheetangdee *et al.*, 2014), soy protein isolate–soy soluble polysaccharides (Yang *et al.*, 2015), lysozyme–tragacanth (Koshani *et al.*, 2015), and *β*-lactoglobulin–Persian gum (Golkar *et al.*, 2015). However, based on the existing literature, it seems that conjugation of Iranian native gums and proteins needs to be more attended to show their potential applications. Therefore, in this study, conjugate formation between milk proteins (sodium caseinate and whey protein isolate) and soluble fraction of Iranian native gums (gum tragacanth and Persian gum) was optimized using response surface methodology (RSM) and the resulting conjugates were used in emulsion formulation in order to compare protein capability before and after being attached to the gums.

Materials and methods: Iranian native gums were pulverized and sieved (mesh size < 60) after being prepared from local herbal stores. To obtain protein–polysaccharide conjugates, dry heat treatment was accomplished at 60°C and 79% relative humidity at different protein:polysaccharide ratios and heating times. Free amino group content was determined by the ninhydrin method described by Doi et al. (1981). To measure color changes before and after Maillard reaction, Hunter Lab was used. Besides, possibility of stabilizing oil-in-water emulsions using the conjugates was studied. Emulsions were formed by addition of oil phase (4% w/w) into protein–polysaccharide conjugates solution (0.4% w/w) following by ultrasound treatment (amplitude of 100%, for 4 min). Samples were kept at 4 °C for 30 days after adjusting the pH at 3, 5 and 7 to compare the effect of protein–polysaccharide conjugates on their stability at different protein charges. For optimization of Maillard reaction using RSM (central composite design), protein:polysaccharide ratio and heating time were selected as independent variable and were studied at 5 levels. The dependent variables were the substitution degree of free amino groups and color change.

Results & Discussion: Based on our findings, the decrease of free amino group indicated that NH_2 group of amino acids in milk proteins was covalently linked to carbonyl group of the gums. Comparing free amino group reduction of the samples containing soluble fraction of gum tragacanth and Persian gum also showed that Persian gum was more capable of forming covalent linkage with milk proteins than gum tragacanth; probably, due to the lower side branches of Persian, its molecular weight as well as its structural flexibility. Moreover, we believe the higher side branches of attached-tragacanthin molecules might prevent further attachment of protein to the other polysaccharide molecules via steric repulsion. According to the results of color measurement before and after dry Maillard reaction, conjugation led to reduction of L^* and increase of a^* and b^*. In addition, higher heating time and protein:polysaccharide ratio caused progress of Maillard reaction (especially in the case of milk proteins–soluble fraction of Persian gum). Based on our findings, in dry Maillard reaction, the optimum heating time and protein:polysaccharide ratio were 8 days and 1:1.59 for whey protein isolate–soluble fraction of Persian gum, 7 h and 1:2 for sodium caseinate–soluble fraction of Persian gum, 13.64 days and 1:3 for whey protein isolate–soluble fraction of gum tragacanth, and 7.82 h and 1:3 for sodium

1 and 2. Former PhD student and Professor, Colloids and Rheology Lab., Department of Food Science & Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, P.O. Box 14115-336, Tehran, Iran.
(*Corresponding Author: sabbasifood@modares.ac.ir)

caseinate–soluble fraction of gum tragacanth, respectively. Besides, the obtained Maillard reaction products did not cause complete stability of emulsions at pHs 3, 5 and 7. Our findings also declared that attachment of polysaccharides to proteins might negatively affect the proteins functionality, as emulsifier, possibly by hindering adsorption of hydrophobic groups of proteins to oil droplets. Furthermore, homogenization process during emulsion preparation using ultrasound could break the formed covalent bonds and polysaccharide structure leading to lower steric repulsion and viscosity.

Key words: Milk proteins, Maillard reaction, Tragacanth, Persian gum

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 759-770

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 770-759

بررسی اثر نگهداری در دمای محیط(25 درجه سلسیوس) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات زیست‌فعال میوه زغال اخته

روح‌اله پاشایی بهرام[1]- صدیف آزادمرددمیرچی[2*]- جواد حصاری[2]- سیدهادی پیغمبردوست[2]- صمدبدبدک[3]- بیوک‌آقا فرمانی[4]

تاریخ دریافت: 1395/02/12
تاریخ پذیرش: 1395/07/22

چکیده:

زغال اخته (*Cornus mas* L.) یکی از محصولات باغی ایران است که دارای مزیت‌های زیادی از قبیل ارزش غذایی و دارویی، سودآوری و حتی صادراتی می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر نگهداری و حمل و نقل در دمای محیط (روش رایج) بر ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و ترکیبات زیست‌فعال زغال اخته می‌باشد. دو روش نگهداری زغال اخته عبارتند از نگهداری زغال اخته در دمای محیط و نگهداری به‌صورت خشک شده. در این بررسی، میوه‌های زغال اخته در داخل انکوباتور (25 درجه سلسیوس) به مدت 9 روزنگهداری شده و درفواصل زمانی معین (24 ساعته) پارامترهای شیمیایی (pH، اسیدیته، ماده خشک و خاکستر) و میزان افت ترکیبات زیست‌فعال (فنل کل، فلاونوئیدکل، آنتوسانین کل، ویتامین C و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی) نمونه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که پس از نه روز نگهداری مقدار آنتوسیانین کل از 379 به195 (میلی‌گرم در 100 گرم ماده خشک)، ویتامین C از 1385 به 354 (میلی‌گرم در 100 گرم ماده خشک) کاهش و مقدار فنل کل از 1237 به 2067 (میلی‌گرم در 100 گرم ماده خشک) و فلاونوئید از 491 به 943 (میکروگرم در 100 گرم ماده خشک) افزایش یافت. همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به مقدار33% کاهش یافت. با توجه به نتایج حاصل توصیه می‌شود زغال اخته پس از برداشت در دماهای پایین نگهداری شود و در مدت زمان کوتاهی مصرف شود تا ویژگی‌های تغذیه‌ای آن بیشتر حفظ شود.

واژه‌های کلیدی: زغال اخته، ترکیبات زیست‌فعال، فنل‌کل، فلاونوئید

مقدمه

زغال اخته متعلق به جنس *Cornus* از تیره *Cornaceae* جزء گیاهان جدا گلبرگ محسوب می‌شود. در خانواده *Cornaceae* حدود 10 جنس و120 گونه وجود دارد که به‌طور عمده در نواحی گرم و معتدل نیمکره شمالی پراکنده می‌باشند. خانواده زغال اخته شامل سه جنس *Cornus*، *Aucuba*، *Helwingia* می باشد (Vareed *et al.*, ۲۰۰۶). به عقیده Fan & Xiang (2001) جنس *Cronus* حدود 58 گونه را شامل می‌شود.

میوه زغال اخته پس از رسیدن کامل دارای رنگ قرمز بسیار زیبا با طعم ترش و کمی شیرین می‌باشد. در بعضی از گونه‌ها رنگ میوه مایل به سفید یا مایل به زرد نیز دیده می‌شود (زرگری، 1370؛ ثابتی، 1385؛ مظفریان، 1383؛ Demir *et al.*,2003 ؛ Ereysly,2004). زغال اخته از لحاظ دارویی و زینتی نیز با ارزش می‌باشد (Klimenka, 2004 ؛ Ereysly,2004). از بذر آن روغن بدست می‌آید پوست و چوب آن برای تولید رنگ استفاده می‌گردد و برگ‌های آن منبع خوبی برای تانن می‌باشند.

میوه زغال اخته معمولاً به‌صورت تازه‌خوری مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی فرآورده‌های آن به‌صورت خشک، مربا، کنسرو، ترشی، آب میوه، سس، نکتار، ژله، مارمالاد، سرکه، لواشک (گلریز و همکاران، 1996؛ Demir, and Kalynoco2003 ؛ Gulcin 2005 *et al.*,) و همچنین در تهیه شربت و چندین نوشیدنی (Jayaprakasam *et al.*,2006 ؛Damir *et al.*,2003) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این میوه حاوی مقادیر زیادی آهن، کلسیم، اسید

1- دانشجوی دکتری، گروه علوم وصنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ممقان، تبریز، ایران.
2 و 3- به‌تریب استاد و دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
4- مربی، گروه علوم وصنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
(* - نویسنده مسئول (Email: sodeifazadmard@yahoo.com
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55604

فولیک، ویتامین C، B، B_2، E[1] و فلاونوئیدها می‌باشد. همچنین در میوه آن گلوکز، ساکارز، اسید گلی کوکسالیک و صمغ فراوان یافت می‌شود (Tural & Koca, 2005).

میوه زغال اخته منبع غنی از آنتی‌اکسیدان‌ها است که ارزش غذایی آن را افزایش می‌دهد (Panatelidis et al., 2006). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مختلف جهت حفاظت در برابر رادیکال‌های آزاد، کاهش مرگ و میر ناشی از سرطان و بیماری‌های قلبی، در جهت تأمین سلامتی بشر استفاده می‌گردد. میوه زغال اخته حاوی مقدار قابل توجهی آنتوسیانین مانند سیانیدین 3- اُ-گالاکتوزید[2]، پلارگونیدین 3- اُ-گالاکتوزید[3] و دلفینیدین 3- اُ- گالاکتوزید[4] می‌باشد (Seeram et al.,2002 ؛ Jayaprakasam et al.,2006). آنتوسیانین کل در بیشتر گونه‌های کرنوس 15-10 برابر بیشتر از میوه‌هایی است که به‌عنوان منبع آنتوسیانین استفاده می‌شوند (Vareed et al.,2007). Gulcin(2005) گزارش کردند آب‌میوه زغال اخته دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی از جمله خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد، از بین بردن رادیکال‌های آنیون سوپراکسید و پراکسیدهیدروژن و فعال‌کردن عوامل شلاته‌کننده فلزات، می‌باشد.

براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی در ایران 1094/26 هکتار از باغات به کشت زغال اخته اختصاص داده شده است و جمعاً به میزان 2329/36 تن زغال اخته از این باغات تولید می‌گردد (آمار وزارت جهاد کشاورزی، 1387).

هرچند در مورد سودمند بودن ترکیبات زیست‌فعال میوه‌جات اتفاق نظر وجود دارد، اما اطلاعات کمی در مورد تغییرات رخ داده در مورد ترکیب و فعالیت آن‌ها پس از برداشت وجود دارد. دمای نگهداری، نور و قرار گرفتن در معرض اکسیژن از جمله فاکتورهای کلیدی هستند که بر پایداری این ترکیبات در طی انبار کردن پس از برداشت تاثیرگذار هستند (Kalt et al.,1999).

پایداری آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنلی در آب‌میوه‌ها و کنسانتره‌ها در دماهای مختلف نگهداری و تاثیر حرارت‌دهی توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌است (Wang et al.,2007 و Garzon et al.,2002). البته آنالیز پایداری آنتی‌اکسیدان‌ها در آبمیوه‌جات و کنسانتره‌ها نمی‌تواند برای قضاوت در مورد رفتار میوه کامل روش مناسبی باشد، زیرا در فرآوری تولید آب‌میوه معمولاً آنزیم-های دخیل در تجزیه ترکیبات زیست‌فعال غیر فعال می‌گردند در حالی‌که فرآیند رسیدگی در طی نگهداری پس از برداشت برای میوه‌جات ادامه دارد. مطالعات اخیر نشان داده‌است که مقدار ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در طی نگهداری میوه‌جات و سبزیجات در دمای اتاق دچار نوسان بوده و بعد از چند روز حتی افزایش نیز داشته است (Kevers et al.,2007). دلیل این امر واکنش‌های پیچیده‌ای است که در طی نگهداری پس از برداشت در میوه رخ می‌دهد که ممکن است باعث تولید ترکیباتی با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالا شود حتی در مواقعی که طعم، ظاهر و بافت میوه دچار افت قابل توجهی شده‌باشد (Kevers et al.,2007). همچنین به‌دلیل فاکتورهای داخلی و خارجی مختلف تغییرات شیمیایی و فیزیکی در اغلب میوه‌جات رخ می‌دهد که باعث افت مواد مغذی ماکرو و میکرو و قهوه‌ای‌شدن می‌گردد. برای جلوگیری از این اثرات نامطلوب در طی نگهداری پس از برداشت محققین توصیه کرده‌اند که نگهداری در فیلم‌های بسته‌بندی یا اتمسفر کنترل شده و یا اصلاح شده انجام گیرد (Deng et al.,2005 و Rocculi et al.,2004). دو روش رایج نگهداری میوه‌جات قبل از فرآوری، در مغازه‌ها و منازل نگهداری در دمای اتاق و نگهداری در دمای یخچال بدون اتمسفر کنترل‌شده می‌باشد. PiljacZegarac و همکاران (2009) نیز در بررسی اثر دمای نگهداری بر میزان ترکیبات فیتوشیمیایی تمشک، انگور قرمز و سفید و توت فرنگی به این نتیجه رسیدند که اغب ترکیبات فیتوشیمیایی در دمای 25 و 4 سلسیوس دارای پایداری مناسبی بودند. حسن‌پور و همکاران (2011) با بررسی ترکیبات زیست فعال در 6 ژنوتیپ میوه زغال اخته اظهار کردند که مقدار ویتامین ث در ژنوتیپ‌های مورد بررسی 299/5-183/25 میلی‌گرم در صد گرم وزن تازه میوه بوده و همچنین بین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فنل کل، فلاونوئید کل و اسید اسکوربیک رابطه خطی وجود دارد ولی بین مقدار آنتوسیانین کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی رابطه معنی‌داری وجود ندارد.

با توجه به اینکه میوه زغال اخته، از میوه‌جات کلایماکتریک است، لذا هدف این تحقیق بررسی تاثیر واکنش‌های رخ داده در طی نگهداری پس از برداشت در دمای محیط (25 درجه سلسیوس) بر ترکیبات بیواکتیو و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه زغال اخته (*Cornus mas L.*) جهت فرآوری و یا مصرف تازه‌خوری است.

مواد و روش‌ها

زغال اخته مورد نیاز این تحقیق از یک باغ زغال اخته در شهرستان هوراند واقع در استان آذربایجان‌شرقی و از درخت پر محصول و مشرف به نور خورشید به صورت دستی چیده‌شد. پس از انتقال به آزمایشگاه، میوه‌ها از لحاظ نارس بودن جداسازی و شسته شدند تا گرد و غبار، دم میوه، برگ و غیره کاملاً جدا شوند. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق با درجه آزمایشگاهی با مارک تجارتی مرک آلمان خریداری شد.

---
1 α- Tocopherol
2 Cyanidin 3-O-galactosid
3 Pelargonidin 3-O-galactosid
4 Delphinidin 3-O- galactosid

روش نگهداری نمونه‌های زغال اخته

پس از جداسازی برگ و دم میوه‌ها و حذف میوه‌های نارس ومعیوب، نمونه‌ها به‌طور چشمی از نظر رنگ، اندازه و شکل به 9 قسمت تقسیم شدند و به‌طور جداگانه بر روی پارچه سفید تمیز و به‌صورت تک‌لایه قرار داده شدند. یک قسمت از نمونه‌ها به‌عنوان نمونه روز اول در همان روز مورد آزمایش قرار گرفت و 8 قسمت باقی‌مانده نیز کدبندی شده و در دمای 25 درجه سلسیوس در داخل انکوباتور، دور از نور آفتاب و جریان باد نگهداری شدند و در روزهای اول تا نهم به ترتیب خواص فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

اندازه‌گیری pH با استفاده از pHمتر (pH, HANNA209) در دمای20 درجه سلسیوس برای عصاره میوه زغال اخته و به روش He و همکاران (2007) انجام شد. اندازه‌گیری اسیدیته کل بر حسب اسید مالیک (گرم در 100 گرم) برای عصاره میوه زغال اخته، با استفاده از pHمتر و به روش پتانسیومتری انجام گرفت (He *et al*.,2007).

مواد جامد محلول (بریکس) با استفاده از دستگاه رفراکتومتر در دمای20 درجه سلسیوس اندازه‌گیری و با درجه بریکس نشان داده‌شد (Gökmen *et al*.,2001).

مقدار ماده خشک براساس گرم در صد گرم ماده از اختلاف توزین نمونه قبل و بعد از قرار گرفتن در آون با دمای $100^{\circ}C$ (تا رسیدن به وزن ثابت در دو توزین متوالی) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (خسروشاهی اصل، 1376).

(1) 100× وزن نمونه اولیه / (وزن رطوبت خارج شده- وزن نمونه اولیه)= درصد نمونه

مقدار خاکستر نمونه‌ها با روش (AOAC، 2005) اندازه‌گیری شده و مقدار آن بر حسب گرم در 100 گرم ماده خشک بیان گردید.

(2) 100× (وزن نمونه اولیه- وزن خاکستر)= درصد خاکستر

روش اندازه‌گیری آنتوسیانین

جهت استخراج عصاره و اندازه‌گیری آنتوسیانین مقداری میوه منجمد شده در داخل هاون چینی حاوی نیتروژن مایع خرد شده و مقدار 1 گرم پودر حاصل با 10 میلی‌لیتر متانول حاوی 1% اسیدکلریدریک (حجمی/ حجمی) مخلوط شد و به مدت 10 دقیقه در دمای 0 درجه سیلسیوس نگهداری شد. پوره میوه حاصل به مدت 15 دقیقه در دمای 4 درجه سیلسیوس و دور 17000×g سانتریفوژ شد و سوپرناتانت جهت اندازه گیری آنتوسیانین کل استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین در نمونه‌ها از روش pH افتراقی و بافر با pH=1 و pH=4/5 استفاده شد (Rodriguez-Saona *et al*.,2001 و Orak, 2007؛ حسن‌پور و همکاران، 2011). و غلظت آنتوسیانین کل(TA) (mg/l) برابر است با:

$$TA = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\varepsilon \times l} \qquad (3)$$

که در آن A نشان‌دهنده مقدار جذب نمونه‌ها (A) بوده و به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$A = (A_{\lambda 520} - A_{\lambda 700})_{pH1/0} - (A_{\lambda 520} - A_{\lambda 700})_{pH4/5} \qquad (4)$$

و همچنین MW=449 و ε=26900 به‌ترتیب برابر با وزن مولکولی و جذب مولی آنتوسیانین شاخص زغال اخته، سیانیدین 3-گلیکوزید ، DF فاکتور رقیق‌سازی، 1طول سل اسپکتروفتومتر (سانتی‌متر) می‌باشند.

استخراج و اندازه‌گیری فنل کل

استخراج و اندازه‌گیری فنل کل به روش عربشاهی و همکاران (2006) و با استفاده از معرف فولین سیوکالچو انجام شد. از حلال متانول-آب (80% متانول) برای استخراج ترکیبات فنلی استفاده شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، جذب نمونه در طول موج 765 نانومتر قرائت شد و با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک غلظت فنل موجود در نمونه محاسبه شد.

روش اندازه‌گیری ویتامین ث (اسید آسکوربیک)

برای اندازه‌گیری مقدار ویتامین ث کل از روش Terada و همکاران (1978) استفاده شد. برای این منظور ابتدا 5گرم نمونه خرد شده در 25 میلی‌لیتر محلول اسید متافسفریک- اسید استیک (15گرم اسید متافسفریک با 40 میلی‌لیتر اسید استیک گلاکسیال مخلوط و سپس 450 میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد) اضافه شد. پس از هم‌زدن با محلول اسید متافسفریک-اسید استیک به حجم 50 میلی‌لیتر رسانده‌شد و به‌مدت 15 دقیقه در 4000 دور در دقیقه سانتریفوژ شده و سوپرناتانت جمع‌آوری شد.

4 میلی‌لیتر از سوپرناتانت به 0/2 میلی‌لیتر محلول دی کلروفنل اندوفنل(20%) اضافه شده و به مدت 1 ساعت در دمای اتاق نگهداری و سپس 4 میلی‌لیتر محلول تیواوره (2 گرم تیواوره در محلول اسید متافسفریک 5%) به آن اضافه شد تا باقیمانده آن را بی‌رنگ کند. 2 میلی‌لیتر محلول 2و 4-دی نیترو فنیل هیدرازین (2 گرم از 2و 4-دی نیترو فنیل هیدرازین در100 میلی‌لیتر اسید سولفوریک 4/5 مولار) به آن اضافه و به‌مدت 3 ساعت در دمای 37درجه سلسیوس نگهداری شد و سپس درحمام آب یخ به مدت 30 دقیقه قرار گرفت تا واکنش متوقف شود. 5 میلی‌لیتر اسید سولفوریک (90%) به نمونه اضافه شده

و در طول موج 521 نانومتر جذب نمونه‌ها قرائت شد. با استفاده از منحنی استاندارد غلظت ویتامین ث نمونه محاسبه شد.

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از رادیکال آزاد 2و 2-دی فنیل-1-پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از سوپرناتانت عصاره متانولی (حلال متانول-آب (80% متانول)) پس از سانتریفوژ کردن به مدت 10 دقیقه و 15000×g استفاده شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل با روش و همکاران Hiou (2007) انجام شد. درصد احیا DPPH با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$inhabition\,\%\,DPPH = \frac{A_{control}-A_{sample}}{A_{control}} \quad (5)$$

اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها در 515 نانومتر انجام گرفت. جذب محلول DPPH خالص در 515 نانومتر به‌عنوان $A_{control}$ در نظر گرفته شد (Hiou *et al*,.2007).

اندازه‌گیری فلاونوئید

اندازه‌گیری مقدار ترکیبات فلاونوئیدی به روش Youngjae و همکاران (2007) انجام و با استفاده از منحنی استاندارد روتین غلظت فلاونوئید نمونه‌ها محاسبه شد (Youngjae *et al*,.2007).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق اثر زمان نگهداری بر خواص فیزیکوشیمیایی زغال اخته در طی نگهداری در دمای اتاق (25 درجه سلسیوس) در قالب طرح اندازه‌گیری‌های تکرار شده در زمان و در 3 تکرار انجام شد. نتایج به‌دست آمده با استفاده از روش آنالیز واریانس در سطح احتمال (P<0/05) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل مربعات میانگین[1] سطح احتمال (P<0/05) مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت. آنالیزهای آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9/1 انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

تغییرات pH در طی نگهداری

آنالیز واریانس و مقایسه میانگین نشان داد که با گذشت زمان پارامتر pH به‌طور معنی‌داری (P<0/05) افزایش یافت (جدول1). به‌طوری‌که کم‌ترین pH در روز اول برابر با 2/37 و بیشترین مقدار pH مربوط به روز نهم برابر با 2/85 می‌باشد. دلیل افزایش pH مصرف اسیدهای‌آلی در مسیرهای تنفسی به‌عنوان سوبسترا و رشد کپک‌ها و مصرف ترکیبات اسیدی توسط آنها است که به تدریج با افزایش pH، شرایط برای رشد مخمرها فراهم می‌شود (Valero& Serrano, 2010). سایر محققین نیز مقدار pH میوه زغال اخته را در حدود 3/14-2/5 گزارش کردند (Demir& Kalynoco, 2003؛ Didin *et al*., 2000) ولی تورال و کوکا (2008) نیز در تحقیقات خود مقدار pH میوه زغال اخته را در حدود 3/53-3/11 گزارش کردند.

تغییرات اسیدیته در طی نگهداری

اسیدیته در میوه‌جات یک شاخص مهم رسیدگی است. اسیدیته قابل تیتر، اسیدیته کلی یا پتانسیل اسیدی نمونه را نشان می‌دهد. تغییرات در اسیدهای آلی در طی رسیدن به افزایش سیترات و کاهش مالات نسبت داده می‌شود، که نشان‌دهنده تغییر در متابولیسم سیترات و کاهش در مقدار اسید سیتریک است (Sánchez-Moreno *et al*. 2006). آنالیر واریانس و مقایسه میانگین نشان داد که با گذشت زمان پارامتر اسیدیته به‌طور معنی‌داری (P<0/05) کاهش یافت (جدول1). به‌طوری‌که بیشترین مقدار در روز اول برابر با 25/85 و کمترین مقدار مربوط به روز نهم برابر با 16/80 گرم مالیک اسید در 100گرم عصاره می‌باشد. با توجه به این‌که اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترا در مسیرهای تنفس سلولی مصرف می‌شوند و لذا با گذشت زمان مقدار اسیدیته کاهش می‌یابد. این نتایج با روند تغییرات pH مشاهده شده نیز مطابقت دارد. Bhatnagar و همکاران (2006) گزارش کردند که طی نگهداری میوه اسید موجود در میوه توسط خود میوه و در مسیرهای تنفسی مصرف می‌شود، لذا با گذشت زمان میزان اسیدیته کاهش می‌یابد.

تغییرات بریکس در طی نگهداری

مطابق نتایج حاصل از جدول1، میزان مواد جامد محلول با گذشت زمان افزایش معنی‌داری داشته‌است (P<0/05) (جدول1). هرچه میزان مواد جامد محلول بیشتر باشد، نشان‌دهنده وجود قندهای محلول بیشتر در میوه است زیرا بخش اعظم بریکس مربوط به قندهای محلول است. همان¬طورکه در جدول 1 مشاهده می¬شود مواد جامد محلول زغال اخته با گذشت زمان به علت کم شدن محتوای رطوبتی میوه افزایش یافت، به¬طوری¬که کمترین بریکس متعلق به روز اول (15/25) و بیشترین مربوط به روز نهم (23/50) می¬باشد. همچنین افزایش قابل توجهی در میزان مواد جامد محلول از روز ششم به بعد مشاهده شد. قندها و مواد معدنی موجود در میوه بخش عمده ماده خشک میوه را تشکیل می‌دهند. در طی رسیدن میوه ماده خشک محلول (بریکس) به دلیل تجزیه پلی‌ساکاریدها به

1-least square means

قندهای ساده تر افزایش می¬یابد (Naik *et al*.,1993).

جدول1- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی زغال اخته در طی 9 روز نگهداری

روز	pH	اسیدیته (گرم اسید مالیک در 100 گرم ماده خشک)	بریکس	ماده خشک (گرم در 100 گرم نمونه)	خاکستر کل(گرم در 100 گرم ماده خشک)
1	2/37±0/02[e]	24/50±1/01[a]	15/25±0/22[g]	15/92±0/12[f]	3/12±0/49[e]
2	2/61±0/03[e]	25/85±1/65[a]	16/17±0/20[f]	16/14±0/07[e]	3/75±0/61[d]
3	2/73±0/02[dc]	۲۳/٦٤±0/93[a]	16/31±0/06[f]	16/35±0/18[g]	3/73±0/61[cd]
4	2/74±0/05[c]	22/75±1/00[ab]	16/47±0/06[ef]	17/85±0/14[f]	4/83±0/49[b]
5	2/78±0/01[bcd]	2/22±0/17[bc]	16/67±0/01[e]	18/27±0/10[e]	4/98±0/11[b]
6	2/79±0/04[bc]	20/76±0/53[bc]	17/17±0/12[d]	19/94±0/35[d]	5/26±0/84[b]
7	2/75±0/01[bcd]	19/97±0/72[c]	18/73±0/15[c]	20/84±0/16[c]	5/27±0/21[b]
8	2/80±0/03[b]	19/58±1/72[cd]	21/77±0/15[b]	22/48±0/18[b]	5/36±0/64[b]
9	2/85±0/02[a]	16/80±0/11[d]	23/50±0/26[a]	26/07±0/56[a]	5/92±0/52[a]

[*]حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون نشانگر اختلاف معنی‌دار (P<0/05) بین تیمارها است.

تغییرات ماده خشک میوه در طی نگهداری

ماده خشک کل به‌عنوان شاخصی از کربوهیدارت‌های موجود در میوه‌جات می‌باشد. قندها و مواد معدنی موجود در میوه بخش عمده ماده خشک میوه را تشکیل می‌دهند (Naik *et al*.,1993). براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها، درصد ماده خشک در طول 9 روز نگهداری مورد بررسی افزایش معنی‌داری در سطح احتمال (*P*<0/05) نشان داد (جدول1). به‌طوری‌که کمترین مربوط به روز اول که برابر 15/92 (گرم در 100 گرم ماده خشک) و بیشترین مربوط به روز نهم 26/07 (گرم در 100 گرم ماده خشک) می‌باشد که علت آن تبخیر رطوبت میوه با گذشت زمان می‌باشد.

خاکستر

آنالیز واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با گذشت زمان میزان خاکستر به‌طور معنی‌داری (*P*<0/05) افزایش یافته‌است (جدول1). به‌طوری‌که کمترین مقدار در روز اول برابر با 3/12 (گرم در 100 گرم ماده خشک) و بیشترین مقدار مربوط به روز نهم برابر با 5/92 (گرم در 100 گرم ماده خشک) می‌باشدکه علت آن می‌تواند به دلیل مصرف مواد آلی در طی تنفس میوه و کاهش مواد آلی باشد به طوری که در مقدار نمونه برداشت شده برابر در روزهای مختلف به تدریج با گذشت زمان غلظت مواد معدنی افزایش می یابد (Valero and Serrano,2010).

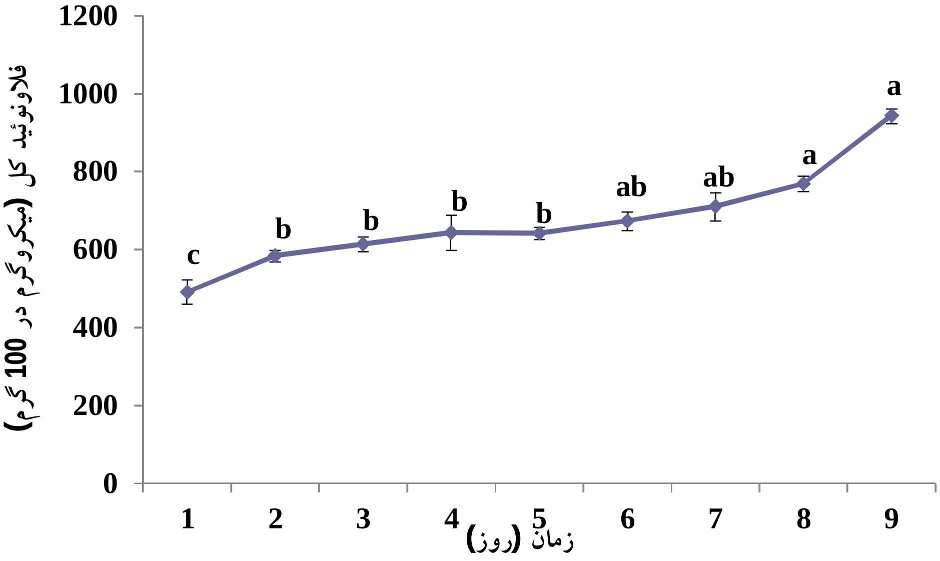
فلاونوئید

نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با گذشت زمان میزان فلاونوئید به‌طور معنی‌داری (*P*<0/05) افزایش یافته‌است (شکل 1). به‌طوری‌که کمترین مقدار در روز اول برابر با 491 (میکروگرم در 100 گرم) و بیشترین مقدار مربوط به روز نهم برابر با 943 (میکروگرم در 100 گرم) می‌باشد. نتایج حاصل با نتایج گزارش شده توسط PiljacZegarac و همکاران (2011) در مورد توت فرنگی و آلبالو و همچنین نتایج Kevers و همکاران (2007) در مورد انگور، زردآلو و آلو مطابقت دارد و احتمالا به‌دلیل آزاد شدن ترکیبات فلاونوئیدی در طی فرآیند رسیدن پس از برداشت میوه می‌باشد.

تغییرات مقدار ویتامین ث کل در طی نگهداری

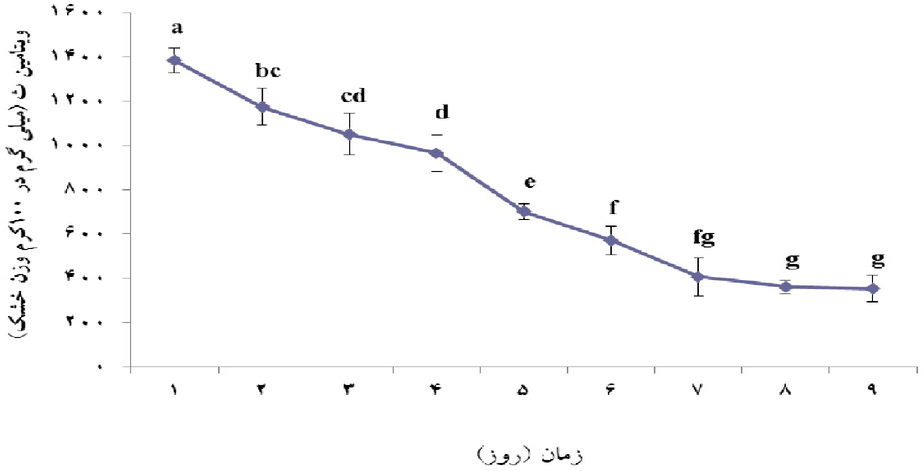
افزایش مقدار ویتامین ث در میوه، نشان‌دهنده این است که میوه در مرحله رسیدگی است و کاهش مقدار ویتامین ث نشان‌دهنده این است که میوه در مرحله پیری می‌باشد (Roberts *et al*.,2002). وجود ترکیبات فنولی به حفظ ویتامین ث در میوه کمک می‌کند. & Miller Evans (1997) گزارش کردند که ترکیبات فنولی اثر حفاظتی بر روی ویتامین C دارند، آنالیز واریانس و مقایسه میانگین نشان داد که با گذشت زمان میزان ویتامین ث به‌طور معنی‌داری (*P*<0/05) کاهش داشته‌است (شکل 2). به‌طوری‌که بیشترین در روز اول برابر با1385 میلی‌گرم در 100 گرم وزن و کمترین مقدار مربوط به روز نهم و برابر 354 میلی‌گرم در 100 گرم وزن خشک می‌باشد که علت آن اکسیدشدن ویتامین ث با گذشت زمان می‌باشد & Tasdelen Bayindirli (1998) نشان دادند که مقدار ویتامین ث در طی نگهداری در دمای محیط کاهش یافته‌است. Garzón و همکاران (2002) بیان کردند که نگهداری آب و کنسانتره توت فرنگی باعث

کاهش مقدار ویتامین ث در طی 14 روز نگهداری گردید.



شکل 1- تغییرات مقدار فلاونوئید (بر حسب روتین) زغال اخته در طی 9 روز نگهداری

*حروف لاتین غیر مشابه در هر ستون نشانگر اختلاف معنی‌دار (P<0/05) بین تیمارها است

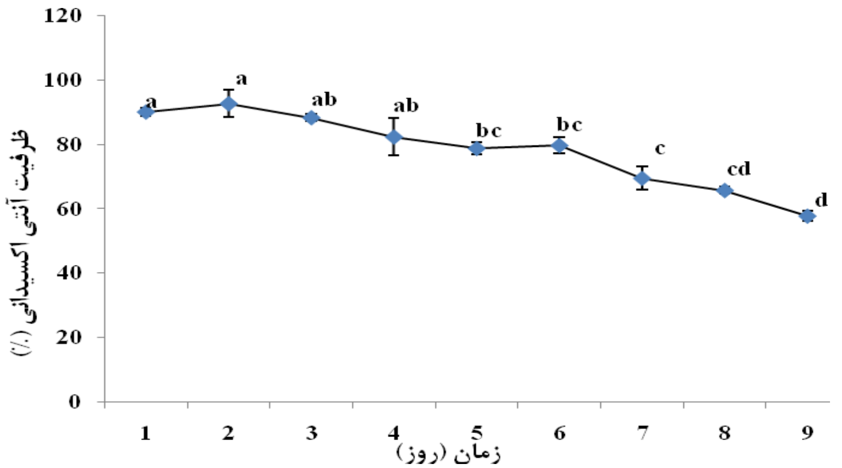


شکل 2- تغییرات مقدار ویتامین C کل زغال اخته در طی 9 روز نگهداری

*حروف لاتین غیر مشابه در هر ستون نشانگر اختلاف معنی‌دار (P<0/05) بین تیمارها است

تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طی نگهداری

نتایج نشان داد که با گذشت زمان میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری (*P*<0/05) کاهش داشته است (شکل 3). به‌طوری‌که بیشترین مقدار در روز اول (90/18 درصد) و کم‌ترین مقدار مربوط به روز نهم (57/87 درصد) محاسبه شد. با توجه به‌اینکه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث و آنتوسیانین‌ها در طی نگهداری کاهش پیدا می‌کنند، لذا مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره استخراج شده از میوه زغال‌اخته نیز با گذشت زمان کاهش یافته‌است. PiljacZegarac و همکاران (2011) نیز چنین پیشنهاد کردند که نقش ویتامین ث و کاروتنوئیدها در فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه تمشک بیشتر از ترکیبات فنلی می‌باشد. همچنین آن‌ها کاهش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه آلبالو را در طی زمان نگه‌داری گزارش کردند.

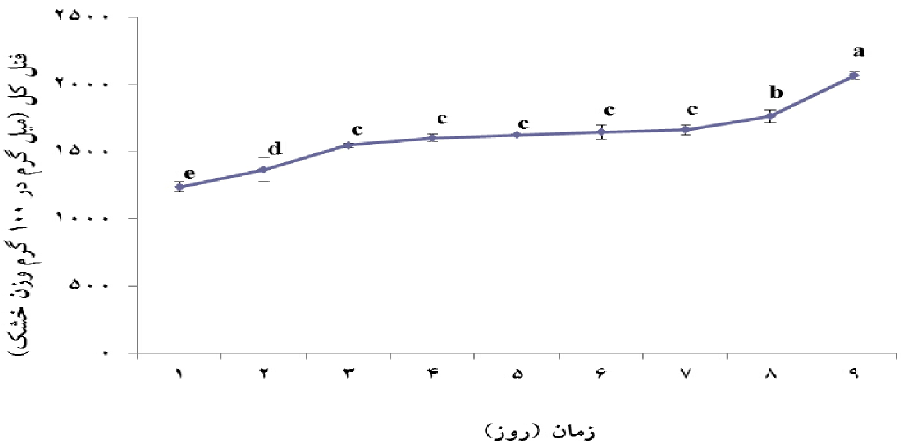


شکل 3- تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی زغال اخته در طی 9 روز نگهداری

*حروف لاتین غیر مشابه در هر ستون نشانگر اختلاف معنی‌دار (P<0/05) بین تیمارها است

تغییرات مقدار فنل کل در طی نگهداری

آنالیز واریانس و مقایسه میانگین نشان داد که با گذشت زمان میزان فنل کل به‌طور معنی‌داری (P<0/05) افزایش یافته‌است (شکل4). به‌طوری‌که کم‌ترین مقدارفنل کل در روز اول و برابر با 1237 میلی‌گرم در 100 گرم وزن خشک و بیشترین مقدار مربوط به روز نهم و برابر با 2067 میلی‌گرم در 100 گرم وزن خشک مشاهده شد. PiljacZegarac و همکاران (2011) نیز با بررسی میزان ترکیبات فنلی زال‌زالک قرمز در طی زمان نگهداری به نتایج مشابهی دست یافتند. افزایش میزان ترکیبات فنلی می‌تواند به دلیل آزاد شدن این ترکیبات از کمپلکس‌های پروتئینی و کربوهیدراتی باشد (Doshi & Adsule,2008). Faniadis و همکاران (2010) نیز نتایج مشابهی را در طی نگهداری گیلاس شیرین در دمای25°C را گزارش کردند. همچنین Klimczak و همکاران (2007) افزایش ترکیبات فنلی در آب پرتقال در طی نگهداری را به دلیل تشکیل برخی ترکیبات دانستند که با معرف فولین سیوکالچو واکنش داده و باعث افزایش معنی‌دار ترکیبات فنلی می‌شود. کاهش رطوبت و افزایش غلظت قندهای احیاکننده و واکنش آنها با معرف فولین سیوکالچو نیز می تواند علت این پدیده باشد (Prior *et al*.,2005).

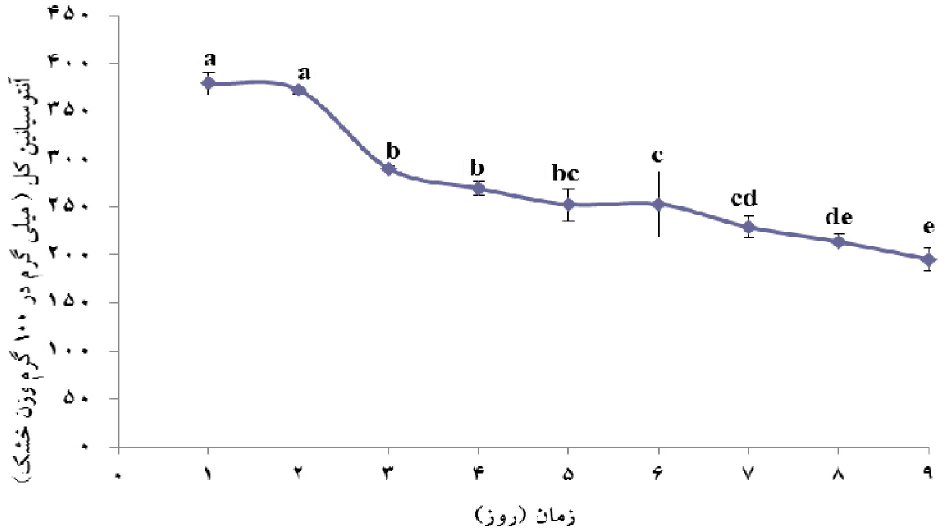


شکل4- تغییرات فنل کل (برحسب اسید گالیک) زغال اخته در طی 9 روز نگهداری

*حروف لاتین غیر مشابه در هر ستون نشانگر اختلاف معنی‌دار (P≤0/05) بین تیمارها است.

تغییرات مقدار آنتوسیانین کل در طی نگهداری

آنالیز واریانس و مقایسه میانگین نشان داد که با گذشت زمان مقدار آنتوسیانین کل به‌طور معنی‌داری (*P*≤0/05) کاهش یافته‌است (شکل 5). به‌طوری‌که بیشترین مقدار آنتوسیانین کل مربوط به روز اول و برابر با 397 میلی‌گرم در 100 گرم وزن خشک و کم‌ترین مقدار مربوط به روز نهم و برابر با 195 میلی‌گرم در 100 گرم وزن خشک می‌باشد. PiljacZegarac و همکاران (2011) گزارش کردند که مقدار آنتوسیانین‌کل در توت فرنگی و آلبالو در طی نگهداری در 25 درجه سلسیوس کاهش و در تمشک و انگور قرمز در طی نگهداری در 25 درجه سلسیوس افزایش یافته است. دلیل کاهش ترکیبات آنتوسیانینی در طی زمان نگهداری تجزیه این ترکیبات در حضور اکسیژن، کندانس شدن با ترکیبات پروتئینی و تانني می‌باشد که به تدریج باعث تیره‌تر شدن رنگ میوه نیز می‌شود (PiljacZegarac *et al.*, 2011).



شکل5- تغییرات مقدار آنتوسیانین کل زغال اخته در طی 9 روز نگهداری

*حروف لاتین غیر مشابه در هر ستون نشانگر اختلاف معنی‌دار (P≤0/05) بین تیمارها است.

نتیجه‌گیری

زغال اخته به‌عنوان یک منبع غنی از مواد آنتی‌اکسیدانی شامل آنتوسیانین‌ها، فنل‌ها، ویتامین ث و فلاونوئیدها می‌باشد. نتایج نشان داد که در روش نگهداری میوه در دمای محیط مقدار ترکیبات زیست فعال در روز نهم نسبت به روز اول به‌صورت زیر تغییر یافت: ویتامین ث کاهش، مقدار آنتوسیانین کل کاهش، مقدار فنل کل و فلاونوئیدها افزایش یافتند. همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به مقدار33% کاهش یافت. روش نگهداری از زغال اخته در شرایط دمایی محیطی باعث کاهش چشم‌گیر مواد زیست‌فعال زغال اخته می‌شود. لذا توصیه می‌شود میوه زغال اخته به‌صورت تازه مورد استفاده قرار گیرد و یا با استفاده از روش‌های نگهداری در سردخانه از کاهش میزان ترکیبات زیست‌فعال جلوگیری شود.

منابع

AOAC., 2005. Official method of Analysis.Association of official Analytical chemists. Washington. De.

Arabshahi-Delouee, S. and Urooj, A. 2006.Antioxidantproperties of various solvent extracts of mulberry(*Morusindica* L.) leaves. *Food Chemistry*, 102(4), 1233-40.

Bhatnagar, D.K., Singh, G.P., Singh, J.P., Singh, B.P. 2006.Studies on the storage behaviour of different tomato cultivars. *Haryana Agricultural University Journal of Research* 10: 5-9.

Deng, Y., Wu, Y. and Li, Y. 2005. Changes in firmness, cell wall composition and cell wallhydrolases of grapes stored in high oxygen atmospheres. *Food Research International*, 38 (7), 769–776.

Demir, F., and Kalynoco, I. H. 2003. Some nutrional, pormological and physical properties of cornelian cherry (*Cornus* mas L.).*Journal of Food Engineering.Torkey*.335-341.

Didin, M., Kızılaslan, A., Fenercioğ lu, H., 2000. Suitability of some cornelian cherry cultivars for fruit juice. *Gida* 25, 435–441.

Doshi, P.J. and Adsule, P.G. 2008. Effect of storage on physiocochemical parameters, phenolic compounds and antioxidant activity of grapes. In: ISHS *ActaHorticulturae International Symposium on Grape Production and Processing*. 785, 447–452.

Ereysly, S., 2004.Cornelian cherry germplasmresurces of Turkey.*Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*,12, 87-92.

Fan, C., Xiang, Q. Y. 2001. PHylogenetic relationship with Cornus (*Cornaccae*). Based on26 SR DNA sequences Am. *Journal of Bot*. 88. 1131-1138.

Faniadis, D., Drogoudi, P.D and Vasilakakis, M., 2010.Effects of cultivar, orchard elevation and storage on fruit quality characters of sweet cherry (*Prunusavium*L.).*Scientiahorticulturae*, 125 (3), 301-304.

Garzón, G. A., and Wrolstad, R. E. 2002.Comparison of the stability of pelargonidin-basedanthocyanins in strawberry juice and concentrate.*Journal of Food Science*.67, 1288–1299.

Gökmen,V. Artık, N., Acar, J., Kahraman, N., and Poyrazoglu, E. 2001. Effects of various clarification treatments on patulin, phenolic compound and organic acid compositions of apple juice. *European Food Research and Technology*, 213(3), 194-199.

Gulcin, L, Beydemir, S. Sat, G. and Kufreviglu, O. I. 2005. Evaluation of antioxidant activity of cornelian cherry (*Cornus mas* L.).AkadmeiaiKiado.*ActaAlimentaria*. 34, 193-202.

Hassanpour, H.,Hamidoghli, Yousef., Hajilo, J., Adlipour, M. 2011. Antioxidant capacity and phytochemical properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) genotypes in Iran. *Scientia Horticulturae* 129 (2011) 459–463.

He, Y., Ji, Z. and Li, S. 2007.Effective clarification of apple juice using membrane filtration without enzyme and pasteurization pretreatment.*Separation and Purification Technology*, 57 (2), 366-373.

Hiou, A., Karathanos, V.T., Mylona, A., Salta, F.N., Preventi, F. and Andrikopoulos, N.K. 2007. Currants (*Vitisvinifera* L.) content of simple phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 102 (2), 516–522.

Jayaprakasam, B.L., Olson. K., Schutzki, R. E. and Nair, M. G. 2006. Amelioration of obesity and Glucose intoleratice in High-Fat-Fed C57Bl6 Mice by Anthocyanins and Ursolic Acid in Cornelian cherry (*Cornus mas*). *Journal of Agricutural and Food Chemistry*. 54, 243-248.

Kalt, W., Forney, C. F., Martin, A., and Prior, R. L. 1999.Antioxidant capacity, vitamin C,phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits.*Journal of Agricultural and Food Chemistry*.47, 4638–4644.

Kevers, C., Falkowski, M., Tabart, J., Defraigne, J. O., Dommes, J and Pincemail, J. 2007.Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables.*Journal of Agriculture and Food Chemistry*.55, 8596–8603.

Khosroshahi Asl, A 1996. Analytical chemistry of food materials (translated). Urmia university publication.

Klimenka, S., 2004. The cornelian cherry (*Cornus mas* L.): Collection preservation, and utilization of genctic resources. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12.

Klimczak, I., Maria Maecka, M., Szlachta, M. and Gliszczynskan-Swiglo, A. 2007.Effect of storage on the content of polypHenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices.*Journal of Food Composition and Analysis*. 20, 313–322.

Miller, N.J., Evans, C.R. 1997. The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink. *Food Chemistry*, 60, 331-337.

Mozafarian, V. 2005. Iranian trees and shrubs. Farhangh Moaser of Teharan

Naik, D.M., Mulekar, V.G., Chandel, C.G., Kapse, B.M. 1993. Effect of prepackaging on physico-chemical changes in tomato (Lycopersiconesculentum Mill.) during storage.*Indian Food Packer*.

Orak, H. 2007.Total antioxidant activities, pHenolics, anthocyanins, poly pHenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations. *ScientiaHorticulturae*. 111, 235–241.

Panatelidis, G. E., M. Vasilakakis, G. A. Manganaris and Gr. Diamantidis, 2007.Antioxidant capacity, pHenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspHerries, blackberries, red currants, gooseberries and cornelian cherries. *Food Chemistry*, 102, 777-783.

Prior, R.L., Wu, X., Schaich, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, pp. 4290–4302.

PiljacZegarac, J., Valek, L., Martinez, M and Belščak, A. 2009.Fluctuations in thepHenolic content and antioxidant capacity of fruit juices in refrigerated storage.*Food Chemistry*.113, 394–400.

Roberts, P. K., Sargent, S. A., and Fox, A. J. 2002.Effect of storage temperature on ripening and postharvest quality of grape and mini-pear tomatoes.Proceedings of the *Florida State Horticultural Society*, 115, 80-84.

Rodriguez-Saona, L. E., Giusti, M. M., Robert, W. D and Ronald, W. E. 2001. Development and process optimization of red radish concentration extract as potential natural red colorant. *Journal of Food Processing Preservation*. 25, 165–182.

Rocculi, P., Romani, S., and Rosa, M.D. 2004. Evaluation of physico-chemical parametersof minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere.*Food Research International*, 37(4), 329–335.

Sabeti, H., 2006. Forests, trees and shrubs of Iran, Yazd University publication.

Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B., Cano, M.P. 2006.Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato purée on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity.*Journal of the Science of Food and*

Agriculture, 86(2), 171-179
Seeram, N. P., R. Schutzki, A. Chandra and M. G. Nair, 2002.Characterization, quantification and bioactivities of anthocyanins in Cornus species.*Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 2519-2523.
Statistic letter-Ministry of Agriculture Jihad, 2008
Tasdelen, O., Bayindirli, L. 1998.Controlled atmosphere storage and edible coating effects on storage life and quality of tomatoes.*Journal of food processing and preservation*, 22(4), 303-320.
Terada, M.,Watanabe, Y., Kunitomo, M., and Hayashi, E. 1978. Differential rapid analysisof ascorbic-acid and ascorbic-acid 2-sulfate by dinitrophenylhydrazine method Analytical biochemistry, 84 (2), 604–608.
Tural, S., and L. Koca, 2005. PHysico-chemical and antioxidant properties of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) grow in Turkey. *Scientia Horticulturae*. 116. 362-366.
Valero, D., Serrano, M. 2010. Postharvest Biology and Technology forPreserving Fruit Quality.CRC Press Taylor & Francis Group, 58.
Vareed, S. K., M. K. Reddy., R. E. Schutzki., M. G. Nair, 2006. Anthocyanins in Cornus alternifolia. Cornus controversa. Cornus kousa and Cornus florida fruits with health benefits. *Life Sci*. 78. 777- 784.
Vareed, S. K., SchutzkiR. E. and Nair, M. G. 2007.Lipid peroxidation. Cyclooxygenase enzyme and tumor cell proliferation inhibitory compounds in Cornuskousa fruits. *Phytomedicine*. 14, 706-709.
Wang, W. D., and Xu, S.Y. 2007.Degradation kinetics of anthocyanins in blackberryjuice and concentrate.*Journal of Food Engineering*.82 (3), 271−275.
Youngjae, S., RuiHai, L., Jacqueline, F., Nockc, D.H., and Christopher, B.W. 2007.Temperatureand relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics andflavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry.*Postharvest Biology and Technology*, 45 (3), 349–357.
Zarghari, A. 1990. Medicinal plants (2th, edition. University of Tehran publication.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 759-770

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 770-759

Changes of bioactive compounds and physico-chemical properties of cornelian cherry fruit during storage at ambient temperature (25°C)

R. Pashaei Bahram[1], S. Azadmard Damirchi[2], J. Hesari[2], S. Hadi Peighambardoust2, S. Bodbodak[3], B. Farmani[4]

Received: 2016.05.01
Accepted: 2016.10.13

Introduction: Cornelian cherry is one of horticultural crops in Iran. There are about 1094.26 hectares of cornelian cherry orchards in Iran and 2329.36 ton cornelian cherry fruit are produced annually based on statistics of the Ministry of Agriculture-Jahad. Cornelian cherry fruit is usually consumed in fresh form, but it products are also used in form of dried fruit, jam, pickles, sauce, juice, jelly, marmalade, vinegar, fruit roll-ups (Golriz *et al.*, 1996; Demir and Kalynoco, 2003; Gulcin *et al.*, 2005) and syrup (Damir *et al*, 2003; Jayaprakasam *et al*., 2006). Cornelian cherry fruit is a rich source of antioxidant compounds and has different benefits such as nutritional, medicinal value, profitability and export values (Panatelidis *et al.*, 2006).Total anthocyanins content of most varieties of *Cornus* are 15-10 times higher than other fruits more that are used as anthocyanins source (Vareed et al., 2007). Although it is obvious that bioactive compounds of cornelian cherry fruit are valuable, but there is little information about changes of their composition and activity during postharvest storage. Some parameters such as Storage temperature, light and exposure to oxygen have great influence on the stability of the composition during postharvest storage of the fruits (Kalt et al., 1999). Since cornelian cherry is a climacteric fruit, the aim of the research was studying the effect of storage and transport of cornelian cheery in ambient temperature on physicochemical properties and bioactive compounds. Two ways of cornelian cherry preservation are included storage of cornelian cherry at room temperature and storage in dried form.

Materials and methods: Cornelian cherry fruit is supplied from an orchard in the city Horand in east Azerbaijan Province from a high yielding tree. After picking, fruits were sorted and held in incubator (25 ˚C) for 9 days and were sampled at intervals of 24 hours up to 9 days and physico-chemical parameters of samples such as pH, acidity, dry matter, Total ash and loss of their bioactive compounds (total phenols, total flavonoids, total anthocyanin, vitamin C and antioxidant capacity) were evaluated. In this research, the effects of storage time on the physicochemical properties and bioactive compounds contents of cornelian cherry fruit during storage at room temperature (25 ˚C) were analyzed by means repeated measurements in time method in three replications. The results obtained were analyzed by using analysis of variance and mean comparison using the least squares ($p \leq 0.05$).

Results and discussion: The results showed that pH and acidity significantly increased and decreased during storage time respectively. It could be attributed to consumption of organic acids in the respiration pathways as a substrate and use of them by mold. It gradually led to an increase of pH and improved the condition for yeast growth. The results showed that after 9 days storage at 25 ˚C the amount of Vitamin C decreased from 1385 to 354 (mg/100 gd. b). It could be ascribed to oxidation of Vitamin C during storage in presence of air. Total anthocyanins decreased from 379 to 195 (mg/100 gd. b) which is the result of degradation of the compounds in presence of oxygen and condensation of them with tannin and protein compounds during storage at ambient condition (PiljacZegarac *et al*., 2011). The amount of total phenols increased from 1237 to 2067 (mg/100 gd. b) During 9 days of storage at ambient conditions. The increase of phenolics compounds could attributed to release of them from protein and carbohydrate complexes (Doshi & Adsule, 2008). Prior et al. (2005) concluded that increase of phenolic compounds during storage of fruits could be the result of moisture decrease and reducing sugar content increase and their interaction with folin ciocalteu reagent. Also flavonoid content of cornelian cherries increased from 491 to 943 (mg/100 gd. b) During storage which probably is due to release of flavonoid

1. PhD Student of Food Technology, Islamic Azad University, Mamaghan Branch, Tabriz, Iran.
2 and 3. Professor and PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4. Instructor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Ahar Agriculture and Natural Resource, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(* Corresponding Author E-Mail Address: sodeifazadmard@yahoo.com)

compound during ripening process in postharvest storage time. Also, the antioxidant activity was reduced to 33%. According to the results, it could be concluded that storage of cornelian cheery fruit in ambient condition significantly decreased the bioactive compounds. Therefore it was recommended that cornelian cheery should be stored in low temperature condition and consumed in fresh form in short time after harvesting in order to remain nutritional properties and bioactive compounds.

Keywords: Cornelian cherry, bioactive compounds, total phenols, flavonoids.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 771-783

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 783-771

بررسی اثرامولسیفایرهای پلی‌گلیسرول استر و امولسیفایر داتم به حالت ژل بر خصوصیات فیزیکوشیمیای، رئولوژیکی و حسی کیک روغنی

مریم‌قنادرضایی[1]- اکرم آریان‌فر[2]*-زهراشیخ‌الاسلامی[3]

تاریخ دریافت: 1395/01/04
تاریخ پذیرش: 1395/08/08

چکیده

با توجه به مزایای استفاده از ژل‌امولسیفایرها در صنایع پخت و لزوم تولید این محصول با فرمولاسیون‌های مختلف، در این پژوهش‌اثرغلظت‌های مختلف امولسیفایرداتم (5 و 10و 15 درصد) وغلظت‌های متفاوت پلی‌گلیسرول است (10 و 15درصد) و میزان ثابت منوگلیسرید (60 درصد) در فرمول ژل امولسیفایر بر بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی کیک روغنی مورد مطالعه قرار گرفت. آنالیز رنگ (ازطریق سه شاخص *L و *a و *b)، حجم مخصوص، بافت و رطوبت نمونه‌های کیک حاوی شش نمونه ژل مورد ارزیابی قرارگرفت نتایج به روشنی نشان داد کـه غلظت مناسب امولسیفایر داتم در فرمول ژل امولسیفایر(10 درصد) در مجاورت با غلظت مناسب پلی‌گلیسرول استر (15 درصد) می‌باشد که این فرمول ژل امولسیفایر سبب کاهش افت رطوبت در طی یک هفته بعد از پخت، افزایش حجم مخصوص کیک، کاهش میزان سفتی کیک، افزایش میزان مولفه *L پوسته و مغز کیک و بیشترین امتیاز بافت و قابلیت جویدن را از نظر ارزیاب‌ها به‌خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: کیک روغنی، ژل امولسیفایر، داتم، پلی‌گلیسرول استر، خصوصیات‌فیزیکوشیمیایی، خصوصیات حسی

مقدمه

محصولات تهیه شده از آرد گندم یکی از پرمصرف‌ترین مواد غذایی در دنیا می‌باشد. در این میان کیک‌ها محبوبیت ویژه‌ای دارند و در نزد مردم به‌عنوان غذایی خوشمزه، دلپذیر و با ویژگی‌های حسی ویژه تلقی می‌شوند. آرد، روغن، شکر، تخم‌مرغ، اجزای اصلی در تهیه کیک هستند که هر کدام یک نقش کاربردی مهم را در ویژگی‌های ساختمانی و کیفی محصول ایفا می‌کنند(Stanly, p. Caurain.,Lindas, Y, 2006).

وجود امولسیفایرها در کیک حائز اهمیت است. تولید کیک با کیفیت مناسب به احتباس و نگهداری حباب‌های هوا در داخل خمیر و باقی ماندن این حباب‌ها در خمیر در طول فرآیند پخت تا زمان تشکیل و استحکام بافت کیک بستگی دارد (,Ashwini, A. jyostena, R &Indrani, D, 2008).

امولسیفایرهای مورد مصرف در تهیه انواع کیک شامل: منوگلیسریدها و مشتقات آن، استئاروئیل لاکتیلات، پروپیلن گلایکول منواستئارات، سوربیتان منواستئارات، پلی سوربات، لسیتین می‌باشند (Dasappa, i., Gandham,V, 2008).

اکثر امولسیفایرهایی که یک اسید چرب خطی در مولکول خود دارند که قادر به ایجاد ترکیب پیچیده با آمیلوز محلول نشاسته هستند. این ویژگی اهمیت زیادی در به تاخیر انداختن بیاتی نان و کیک و کاهش چسبندگی در فرآورده‌های بازسازی شده نشاسته مانند پوره سیب‌زمینی و خمیرهای غذایی دارند (Mikus, 1946).

امولسیفایرها زمانی که به‌صورت ژل بوده و در تولید کیک مورد استفاده قرار می‌گیرند ژل کیک نامیده می‌شوند. به‌طور کلی استفاده از ژل کیک در خمیر کیک سبب افزایش توزیع یکنواخت حباب‌های هوا و در نتیجه افزایش ویسکوزیته و ایجاد بافت و حجم مناسب‌تر در کیک می‌شود (Baker, S, 2010).

امولسیفایر پلی‌گلیسرول استر سبب ثبات فعالیت آبی کیک در حین نگهداری می‌شود که این عامل از خشکی محصول در طی نگهداری نیز می‌کاهد (Robert. J. Whitehurst , 2004). استفاده از روغن‌های حاوی امولسیفایر در تهیه کیک ضمن تسهیل عمل مخلوط کردن اجزای کیک سبب افزایش میزان آب مصرفی نیز

1- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.
2- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.
3- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: a_aria_1443@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.54699

می‌گردد و این امر بیات شدن را به تاخیر می‌اندازد (ترابی زاده، هـ، 1381).

امولسیفایر در مجاورت با آب به فرم مزوفاز تبدیل می‌شود و تشکیل فرم مزوفاز به عواملی مثل به نوع امولسیفایر، دما، غلظت امولسیفایر، HLB و قسمت هیدروفوبیک امولسیفایر بستگی دارد. منوو دی گلیسیرید تهیه شده از روغن کامل هیدروژنه با منو و دی گلیسیرید حاصل از روغن غیراشباع رفتار فازی متفاوتی در آب دارند. منوگلیسیرید ها، دی‌گلیسیریدها و تری گلیسیریدها در فرم کریستالی آب‌گریزمی باشند (prabhasankar,P., Rajiv,J . 2006&- Baker, S. 2010).

زنجیره اسید چرب منوگلیسیرید از بخش آبدوست امولسیفایر (گلیسرول)، محافظت می‌کند و این عامل باعث جلوگیری از واکنش آب با بخش آبدوست امولسیفایر می‌شود که در اثر هیدراته کردن امولسیفایرها ساختار آبدوستی آن تغییر پیدا می‌کند. این عامل سبب بهبود واکنش امولسیفایر با آب می‌شود. به همین دلیل عملکرد امولسیفایر هیدراته بسیار مورد توجه صنایع غذایی قرار گرفته است (Richardson, G., Longton, M &Faldt, P, 2002).

گروه‌های مختلفی از امولسیفایرها را می‌توان از طریق فرایند هیدراته‌کردن به فرم آلفاژل تبدیل نمود. برخی از این امولسیفایرها سدیم استئاریول لاکتیلات[1]، پلی گلیسرول استر[2]، پروپیلن گلایکول منواستئارات[3]، دی استیل تارتاریک اسیداسترمنوگلیسرید[4] می‌باشند که منواسترپروپیلن گلایکول تمایل بالایی در تشکیل ژل آلفاکریستالی دارد و می‌تواند به‌عنوان یک امولسیفایر و هوادهنده در ترکیب با یک مونوگلیسرید عمل کند (Shireed S and Charles A,, 2007).

آلفاژل کریستالی پلی‌گلیسرول استر امروزه به مقدار قابل توجهی همراه با آلفا ژل های مونوگلیسریدها و پروپیلن گلایکول‌منو استئارات در صنایع کیک‌سازی استفاده می‌شود (Shepard, I.S., and Yoell, R.W. 1976).

یک آلفا ژل پایدار که از مخلوط و منوگلیسریدها و پلی گلیسرول استر تشکیل شده است تاثیرات بسیار زیادی برکیفیت کیک دارد. پلی‌گلیسرول استر یک امولسیفایر متمایل به تشکیل آلفاژل می‌باشد و قادر به افزایش ویسکوزیته خمیر می‌باشد پلی‌گلیسرول استر قابلیت تشکیل امولسیون روغن در آب و آب در روغن را دارد و همراه با مونوگلیسریدها قادر به پایداری امولسیون روغن در آب خمیر کیک در مراحل مختلف تولید کیک می‌باشند. در کیک‌های کم‌چرب آلفاژل پلی گلیسرول استر نه تنها در هوادهی مستقیم خمیر کیک کمک می‌کند بلکه با ایجاد لایه‌های محافظتی در اطراف حباب‌های هوا در پایدار کردن کف مایع تأثیر دارد. در خمیر کیک‌های کم چرب آلفاژل پایدار پلی‌گلیسرول استر احساس نرمی همراه با افزایش ویسکوزیته خمیر ایجاد می‌کند که با این ویژگی این نوع خمیرها شبیه به خمیر کیک‌های چرب می‌شوند (Silva RF.2000).

امولسیفایرهای مورد استفاده در تولیدکیک باید در حالت آلفاژل باشند. زمانی که امولسیفایر با ساختار کریستالی بتا در آب حرارت داده می‌شود یک فاز لایه‌ای متشکل می‌شود. این فاز متشکل از دو لایه نرم است که توسط آب‌های حل شده بین گروههای سرقطبی، جدا شده‌اند. در طی سرد کردن زنجیره‌های لیپیدی به فرم سخت آرایش پیدا کرده و فاز لایه‌ای به یک آلفاژل تبدیل می‌شود (کروگ، 1997).

عزیزی و همکاران(2004)، ژل‌امولسیفایرهای گلیسرول منواستارات تقطیر شده، داتم، گلیسرول منو استئارات، سدیم استئارویل لاکتیلات را با آب مخلوط نمودند. افزودن این ژل‌ها جذب آب را کاهش داد. ژل‌ها مقاومت خمیر را افزایش دادند. همچنین خصوصیات اکستنوگراف خمیر آرد گندم تا درجات مختلف بهبود یافت و ژل امولسیفایرهای مورد بررسی باعث بهبود کیفیت پخت نان شدند.امولسفایرها به فرم آلفا بهترین تأثیر را در حفظ حباب هوا و مخلوط کردن و یکنواختی خمیر دارند (Goldstein , A Marngoni , A. 20012).

پور فرزاد(1389) تولید و بهینه‌سازی امولسیفایر برای بهبود خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت و ماندگاری نان بربری غنی شده با سویا را بررسی کردند. در این تحقیق بهترین خصوصیات از نظر حجم به‌خصوص رطوبت، فعالیت آبی و پذیرش کلی نان زمانی حاصل گردید که فرمول شیمیایی شامل 0/5 درصد سدیم‌استئارویل لاکتیلات، 0/28 درصد داتم، 0/5 درصد پروپیلن گلایکول باشد.

هدف از این پژوهش اثرغلظت‌های مختلف امولسیفایرداتم (5 و10و15درصد) و غلظت‌های متفاوت پلی‌گلیسرول است(10و 15 درصد) و میزان ثابت منوگلیسرید (60 درصد) درفرمول ژل امولسیفایر بر بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی کیک روغنی می باشد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده جهت تولید ژل امولسیفایر شامل گلیسرول از (Timer Network، مالزی)، سوربیتول (شرکت بازرگانی امید) و پروپلین‌گلایکول (شرکت صنایع شیمیایی کیمیاگران امروز) تهیه گردید.

مواد اولیه مورد استفاده جهت تولید کیک فنجانی به شرح ذیل می باشد.

آرد گندم: آرد گندم مخصوص تولید این کیک، آرد نول نرم بوده که از کارخانه آرد خراسان در کیسه‌های 50 کیلوگرمی تهیه شده و در

---

1 Stearaoyl Lactylate
2 Poly Glycerol Esters
3 Propylenglycol Mono Stearate
4 Diacetyl Tartaric Acid Ester Monoglyceride

انبار سرد نگهداری شد. آرد گندم مورد استفاده برای تولید کیک دارای رطوبت (14 درصد)، پروتئین (5/8 درصد)، خاکستر (48 درصد)، pH (6/2 درصد) می‌باشد.

تخم‌مرغ مورد استفاده نیز از شرکت تلاونگ یک روز قبل از تولید روزانه کیک تهیه و در یخچال نگهداری شد. وانیل مورد استفاده با نام تجاری VANILLA از شرکت AROMA تهیه شد. روغن نباتی مایع از شرکت لادن تهیه شد. بیکینگ پودر با نام تجاری مهسا از فروشگاه‌های معتبر خریداری شد. شکر مصرفی دارای کریستال‌های ریز سفید که در بسته‌های 15 کیلویی خریداری و در انبار جهت مصرف نگهداری شد. و شربت اینورت از شرکت سیمرغ در بطری یک لیتری تهیه گردید.

تولید ژل امولسیفایر

فرمولاسیون تیمارها مطابق با جدول 1، تولید شدند. ابتدا مواد تشکیل‌دهنده فرمول ژل امولسیفایر با یکدیگر مخلوط شده و سپس تحت شرایط هم زدن مداوم، مخلوط تا دمای 70 درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده سپس در اثر سرد کردن ژل‌ها تشکیل شدند.

جدول 1- فرمولاسیون ژل امولسیفایرها

تیمار	منوگلسیرید	اسیداستیک‌استرمنوگلسیرید	سدیم‌استاروییل2 لاکتیلات	پل‌ال	آب	داتم(٪)	پلی‌گلیسرول استر(٪)
A	60	6	7	20	56	5	10
B	60	6	7	20	56	10	10
C	60	6	7	20	56	15	10
D	60	6	7	20	56	5	15
E	60	6	7	20	56	10	15
F	60	6	7	20	56	15	15

لازم به ذکر است که اجزای ثابت بر حسب قسمت و اجزای متغیر (امولسیفایرها) بر حسب در صد می باشد.

روش تهیه کیک

آرد (32/7 درصد)، شکر (15/7 درصد)، اینورت (6/54 درصد)، تخم‌مرغ (19/6 درصد)، روغن (10/47 درصد)، نمک (0/13 درصد)، بیکینگ پودر (0/26 درصد)، آب (13/8 درصد)، ژل امولسیفایر (0/69 درصد) بود.]

به‌منظور تولید خمیر کیک فنجانی مواد لازم نظیر آب، روغن، شکر، آرد، تخم‌مرغ، شربت اینورت، نمک، بیکینگ پودر، ژل امولسیفایر با توجه به فرمولاسیون وزن شدند.

در ابتدا تخم‌مرغ کامل، شکر و نصف مقدار آب و ژل امولسیفایر مدت 2 دقیقه با دور متوسط در مخلوط‌کن (Moulinex 150W، فرانسه، با سرعت 128 دور در دقیقه)، همزده شد و سپس روغن اضافه شده و به مدت 1 دقیقه، مخلوط گردید. در مرحله بعد بیکینگ پودر، وانیل، نمک و اینورت اضافه شد و به مدت 1 دقیقه مخلوط گردید و در مرحله بعد مابقی آب اضافه شد و به مدت 30 ثانیه مخلوط گردید. در مرحله آخرآرد الک شده و به مخلوط اضافه گردید و به مدت 2 دقیقه با دور بالا مخلوط گردید.

عمل هم‌زدن خمیر در تمامی مراحل به کمک همزن یک کیلویی انجام گرفت. پس از صاف و یک دست شدن خمیر، خمیر در قیف‌های پارچه‌ای مخصوص کیک ریخته شد و با وزن مشخص 40 گرم در قالب‌های کاغذی نسوز مخصوص کیک ریخته شد. پس از چیدن قالبها در سینی، سینی‌ها در طبقه وسط فر (فر آزمایشگاهی گردان با هوای داغ Zuccihelliforni، ایتالیا) با دمای 170 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و عمل پخت به مدت 20 دقیقه انجام شد. پس از خروج سینی‌ها از فر، مرحله سرد کردن کیک‌ها انجام شده و سپس کیک‌ها بسته‌بندی شدند و جهت انجام آزمایشات به آزمایشگاه منتقل شدند.

میزان حجم مخصوص کیک

برای اندازه‌گیری حجم مخصوص از روش جایگزینی حجم با دانه کلزا مطابق با استاندارد شماره 10072-(2000) AACC استفاده شد. برای این منظور ابتدا قطعه جدا شده از هر نمونه کیک به ابعاد 4×4 سانتی‌متر با ترازوی دیجیتالی توزین گردید. سپس حجم استوانه مدرج به میزان 250 میلی‌لیتر با دانه ارزن جایگزین شد. آنگاه قطعه کیک مورد نظر در درون استوانه مدرج قرار داده شد و حجم نهایی گزارش گردید. در انتها از تقسیم حجم به وزن، حجم مخصوص محاسبه شد.

بافت کیک

ارزیابی بافت کیک در فاصله زمانی دو ساعت و یک هفته پس از پخت، با استفاده از یک دستگاه بافت‌سنج (CNS Farnell) ساخت کشور انگلیس متصل به یک کامپیوتر و به کمک نرم‌افزار Texturepro انجام شد. بدین‌منظور در مورد تماس نمونه ابتدا قطعات

مکعبی با ابعاد 20×40× 40 میلی‌متر تهیه و سپس پوسته آن‌ها حذف گردید. در ادامه نمونه‌ها در زیر یک پروب استوانه‌ای از جنس آلومنیوم و با قطر 25 میلی‌متر تحت آزمون فشردگی قرار گرفتند (مسافت) فشرده شدن 30 میلی‌متر در نظر گرفته شد. حداکثر نیروی مورد نیاز جهت اعمال این میزان فشردگی به‌عنوان شاخصی از میزان سفتی نمونه ثبت گردید همانند رطوبت این آزمون در فاصله زمانی 2 ساعت و یک هفته پس از پخت انجام گرفت (Ronda *et al*., 2005).

رنگ پوسته و مغز کیک

آنالیز رنگ پوسته و مغز کیک در فاصله زمانی 2ساعت پس از پخت، از طریق تعیین سه شاخص*L، *a و*b صورت پذیرفت. شاخص *L، معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا 100(سفید خالص) متغیر است. شاخص *a، میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از 120- (سبز خالص) تا 120+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص *b، میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از 120- (آبی خالص) تا 120 + (زرد خالص) متغیر می‌باشد. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها ابتدا برشی به ابعاد 4 در 4 سانتی‌متر از کیک روغنی تهیه گردید و به‌وسیله اسکنر (HP، Scanjet G3010) با وضوح 300 پیکسل تصویربرداری شد، سپس تصاویر در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت.

درصد رطوبت کیک

جهت انجام این آزمایش از استاندارد (AACC، 2000) شماره 16-44 استفاده گردید. برای این منظور نمونه‌ها در فاصله زمانی یک هفته پس از پخت، در آون(OF-O2G ،Jeto Tech، کره جنوبی) با حرارت 105-100 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

خصوصیات حسی کیک روغنی

ویژگی‌های حسی تیمارهای کیک که شامل بافت و قابلیت جویدن بود توسط 10 پانلیست با آزمون هدونیک 5 نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت (امتیازات بین 1 (خیلی بد) و 5 (خیلی خوب) در نظر گرفته شد) و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایشات بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت بدین منظور نمونه‌های حاوی فرمول‌های متفاوت ژل امولسیفایر در سه تکرار تهیه و پس از پخت کیک با این تیمارها آزمون‌های مربوط بر روی نمونه‌های کیک انجام گردید. جهت مقایسه میانگین‌ها و بررسی اثرات تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد. نرم‌افزار مورد استفاده جهت این آزمون‌ها Mstat-c ، بود.

نتایج و بحث

حجم مخصوص

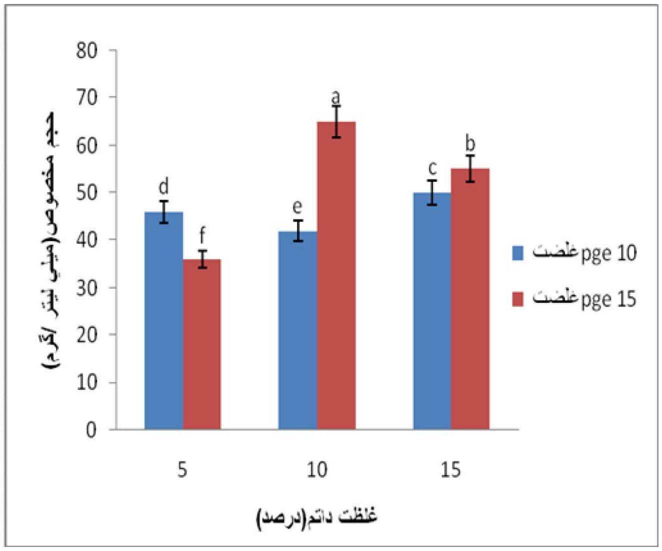
همان‌طور که در شکل 1 ملاحظه می‌شود تفاوت تیمارها در حجم مخصوص معنی‌دار بود به‌طوریکه بیشترین حجم مخصوص مربوط به تیمار دارای 15 درصد پلی‌گلیسرول استر و 10 درصد داتم و کمترین حجم مربوط به تیمار 5 درصد داتم و 10 درصد پلی‌گلیسرول استر می‌باشد. غلظت متناسب امولسفایر پلی‌گلسیرول استر در کنار داتم سبب تشکیل امولسیون یکنواخت و بهبود فرآیند هوادهی در کیک شد. امولسیفایرها، ترکیباتی هستند که قابلیت نگهداری و احتباس حباب‌های هوا را در خمیر کیک افزایش می‌دهند و ضمناً اینکه پایداری این حباب‌ها را افزایش داده و از بهم چسبیدن و اتلاف آنها در طی هم‌زدن خمیر در فرآیند پخت جلوگیری می‌کنند و بدین طریق سبب، بهبود فرآیند هوادهی کیک می‌شوند و در نهایت باعث افزایش حجم مخصوص محصول نهایی می گردند (وایت هورست، 2004).

سبیر (2007)؛ ترابی و همکاران (2008)، آشوینی و همکاران (2009)، کروگ و همکاران (1985)، بنیون (1990)، ول وکیو (1975)، شوستر و آدامز (1984)، شپاردویول (1976) نیز در تحقیقات خود که به قابلیت امولسیفایرهای مختلف مانند لستین، گلیسرول منواستئارات، سدیم استارویل 2- لاکتیلات و سایر امولسیفایرها در افزایش حجم کیک‌های مختلف دست یافتند.

در ارتباط با تاثیر منوگلیسرید در افزایش حجم کیک نیز می‌توان استدلال کرد که اساساً بسیاری از مشتقات مونوگلیسریدها این قابلیت را دارندکه با تشکیل فیلم‌های کریستال آلفا در اطراف حباب‌های هوا، حبابهای هوا را در درون بافت خمیر به دام اندازند و بدین گونه حجم نهایی کیک را افزایش دهند (هنری، 1995).

امولسیفایرها با کاهش کشش سطحی فاز چربی، قابلیت پخش شدن آنرا در خمیر کیک بهبود می‌بخشند و در نتیجه حجم کیک و نرمی مغز آن بهبود می‌یابد (بنیون، 1990).در کیک‌های بدون چربی یا با چربی پایین نیز از امولسیفایرها در فرم ژل به‌عنوان عامل هوادهی‌کننده استفاده می‌شود (کروگ و همکاران 1985) (شوستر و آدامز، 1984) (شپاردویول، 1976).

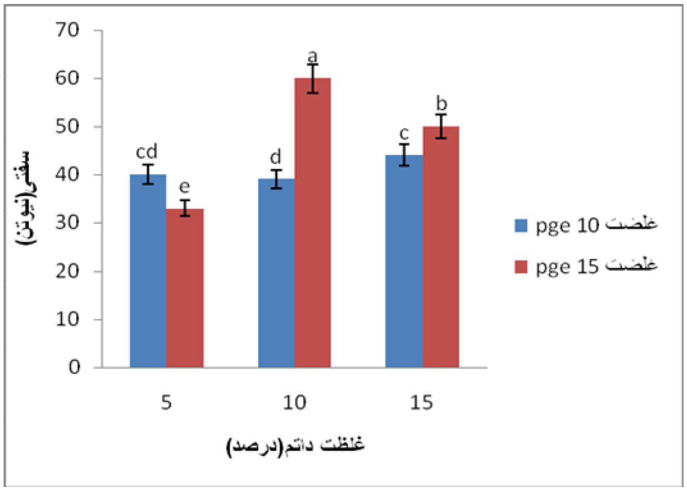
منوگلیسریدها به‌صورت خالص به فرم بتا هستند اما اگر در مجاورت یک امولسیفایر مناسب کمکی با آب حرارت داده شوند به فرم آلفا در آمده و در این حالت دارای قدرت کشش سطحی بوده و باعث هوادهی در کیک می‌شوند (1995) .



شکل 1- اثر غلظت‌های مختلف داتم و پلی‌گلیسرول استر بر حجم مخصوص کیک روغنی

بافت کیک روغنی در فاصله زمانی 2 ساعت پس از پخت

همان‌طور که در شکل 2، مشاهده می‌گردد، کمترین میزان سفتی کیک مربوط به ژل امولسیفایر حاوی15 درصد پلی گلیسرول استر و 5 درصد داتم می‌باشد. ورود امولسیفایر به داخل بخش مارپیچ زنجیره آمیلوز و جلوگیری از ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین زنجیرهای مختلف آمیلوز با یکدیگر عامل کلیدی و اساسی بر حفظ ژلاتینه برای نشاسته و جلوگیری از سفتی محصول توسط امولسیفایر می‌باشد، و همان‌طور که بیشتر اشاره شد یکی از کلیدی‌ترین اعمال امولسیفایرها قابلیت آنها در واکنش با نشاسته و در نتیجه ممانعت از بروز پدیده رتروگریداسیون و در نهایت سفت و چسبنده شدن محصول است. از بین تمامی امولسیفایرها با درجه خوراکی منوگلیسرید و سدیم استئاروئیل لاکتیلات، کارآمدترین ترکیبات تشکیل‌دهنده کمپلکس با نشاسته هستند که در نتیجه قادر به تأخیر در پدیده بیاتی بوده و زمان ماندگاری و تازگی کیک را افزایش می‌دهند.



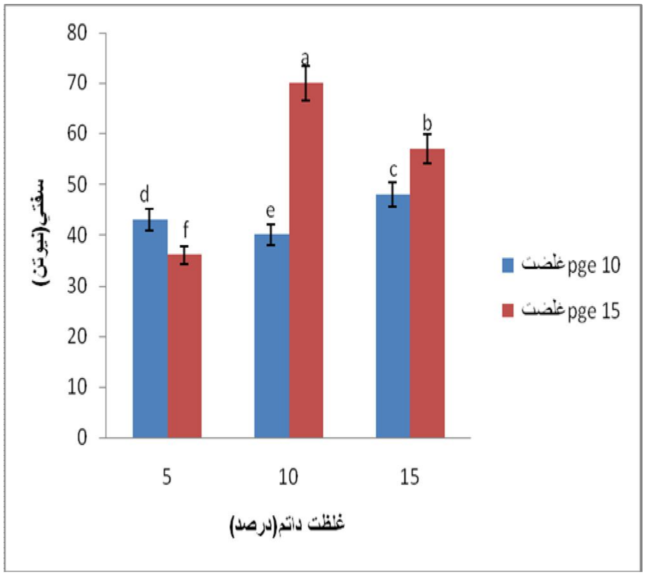
شکل 2- اثر غلظت‌های مختلف داتم و پلی گلیسرول استر بر سفتی بافت کیک روغنی در فاصله زمانی 2 ساعت پس از پخت

بافت کیک روغنی در فاصله زمانی یک هفته پس از پخت

همان‌طور که در شکل 3 ، مشاهده می‌گردد بیشترین میزان سفتی کیک مربوط به ژل امولسیفایر حاوی 10 درصد داتم و 15 درصد پلی‌گلیسرول استر می‌باشد و همچنین مشخص شد کمترین میزان سفتی بافت کیک مربوط به تیمار حاوی 15درصد پلی‌گلیسرول استر و 5 درصد داتم می‌باشد. به‌طور کلی سفت شدن کیک در ارتباط

مستقیم با پدیده رتروگراداسیون نشاسته می‌باشد و همان‌طور که قبلاً اشاره شد یکی از مهمترین تأثیرات امولسیفایرها قابلیت آنها در واکنش با نشاسته و در نتیجه ممانعت از بروز پدیده رتروگریداسیون و در نهایت سفت و چسبنده شدن محصول است.در توجیه این یافته از بین تمامی امولسیفایرها با درجه خوراکی منوگلسیرید و سدیم استئارویل لاکتیلات، کارآمدترین ترکیبات تشکیل‌دهنده کمپلکس با نشاسته هستند که در نتیجه قادر هستند پدیده بیاتی را به تاخیر انداخته و زمان ماندگاری و تازگی کیک را افزایش می‌دهند.

در همین راستا بنیون (1990)، کروگ و همکاران (1985)، عزیزی و همکاران (2003)، کوچکی و همکاران (1385)، آذرپژوه (1376) و ترابی و همکاران (2008) گزارشاتی درباره نقش E471 (منوگلسیرید) به‌عنوان یک عامل نرم‌کننده و ضدبیاتی در انواع مختلف نان و کیک منتشر کردند.



شکل 3- اثر غلظت‌های مختلف داتم و پلی‌گلیسرول استر بر سفتی بافت کیک روغنی یک هفته پس از پخت

رطوبت

همان‌طور که در شکل 4، مشاهده می‌گردد کمترین درصد افت رطوبت مربوط به ژل امولسفایر حاوی 15درصد پلی‌گلیسرول استر و 5 درصد داتم می‌باشد و همچنین مشخص شد غلظت مناسب داتم در کنار غلظت مناسب پلی‌گلیسرول استرکه 15 درصد می‌باشد سبب کمترین میزان افت رطوبت شده است و مشخص شد غلظت مناسب امولسیفایرداتم سبب جذب آب بیشتر خمیر در طی خمیرگیری و باند شدن آب در طی مرحله پخت کیک شد به‌طور کلی یکی دیگر از نقش‌هایی که امولسیفایرها در مواد غذایی ایفا می‌کنند بهبود قابلیت مرطوب شدن و کمک به حفظ رطوبت در طی مدت زمان نگهداری است که به‌عنوان مثال در مورد محصولات پخت مانند انواع کیک، امولسیفایرها این توانایی خود را به‌خوبی بروز داده و در نتیجه سبب افزایش مدت زمان نگهداری محصول می‌شوند. این حفظ رطوبت در نرم شدن مغز کیک نیز کاملاً تأثیرگذار است (ترابی‌زاده، 1382). در همین راستا کلوک و همکاران (1984) بیان کردند که اندازه‌گیری سرعت از دست رفتن رطوبت کیک در طی فرآیند پخت به طبیعت سیستم امولسیفایری به‌کار رفته در محصول وابسته است نتیجه اینکه به‌کارگیری این ترکیبات سبب می‌شود که محصول نهایی از رطوبت بالاتری برخوردار باشد و ابقای این میزان رطوبت در طی مدت زمان ماندگاری نیز بهتر انجام گیرد. آشوینی و همکاران (2009) دریافتند که امولسیفایرهای سدیم ا ستئارویل 2- لاکتیلات و منوگلسیرول استئارات قادرند بر میزان رطوبت کیک بدون تخم‌مرغ بیفزایند. کریمی و عزیزی (1376)، نیز در ارزیابی تاثیر سدیم استئارویل 2 لاکتیلات بر کیفیت نان تافتون به این نتیجه رسیدند که در نان‌های حاوی این امولسیفایر حفظ و ابقای رطوبت بیشتر است.

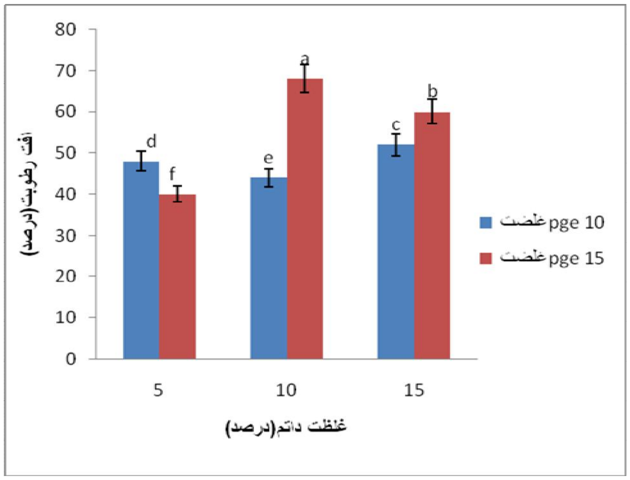
رنگ پوسته کیک روغنی(مؤلفه *L)

*L در واقع به معنی روشنی می‌باشد و هرچه مقدار عددی این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهنده رنگ روشن‌تر و بهتر محصول است. همان‌طور که در شکل 5 مشاهده می‌گردد بیشترین مولفه(*L)، پوسته کیک روغنی مربوط به ژل امولسیفایر حاوی 15درصد پلی‌گلیسرول استر و10 درصد داتم می‌باشد و همچنین نتایج نشان دادکه غلظت مناسب داتم در کنار پلی‌گلیسرول استر متفاوت 10 درصد بوده که سبب افزایش در مولفه *L شد با افزایش ژل امولسیفایر دارای غلظت بالای

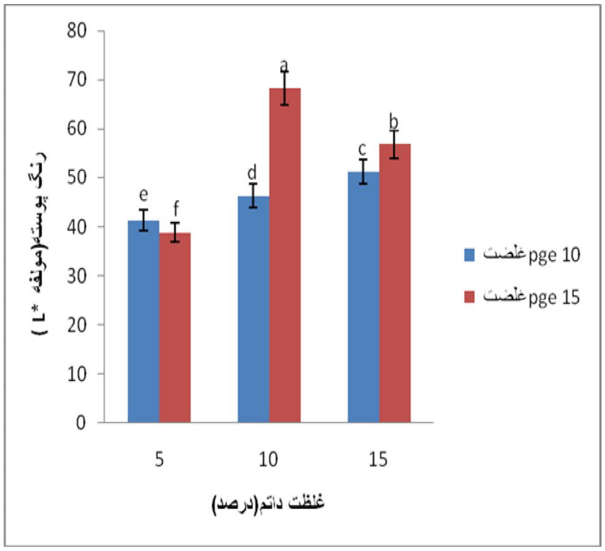
پلی‌گلیسرول استر (پلی‌گلیسرول استر)، حفظ و نگهداری بهتر رطوبت در حین فرآیند پخت و جلوگیری از ایجاد پوسته ناصاف و چین خورده در محصول نهایی می‌باشد.

در همین راستا پورلیس و سالودوری (2009) بیان نمودند که تغییرات سطح، مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین‌دار توانایی بیشتری در انعکاس نور و افزایش میزان مؤلفه *L دارند.

Robertj (2004)، با افزودن پلی‌گلیسرول استر حفظ و نگهداری رطوبت در کیک در طی نگهداری دارای ثبات بیشتری می‌شود.



شکل 4- تأثیر غلظت‌های مختلف داتم و پلی‌گلیسرول استر در ژل امولسیفایر بر درصد افت رطوبت کیک



شکل 5- تأثیر غلظت‌های مختلف داتم و پلی‌گلیسرول استر در ژل امولسیفایر بر مولفه (*L)پوسته کیک روغنی

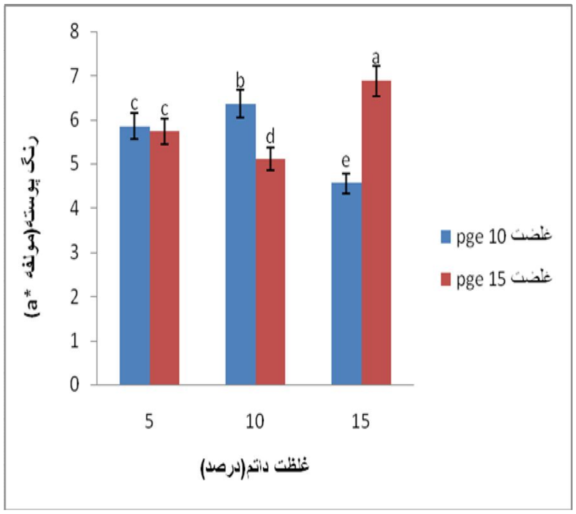
رنگ پوسته کیک روغنی (مؤلفه *a)

مؤلفه *a، در واقع نشان‌دهنده قرمزی یا سبزی می‌باشد که هرچه مقدار عددی این شاخه کمتر باشد، بهتر است. همان‌طور که در شکل 6، ملاحظه می‌گردد کمترین میزان مؤلفه *a، مربوط به ژل امولسیفایر حاوی 15 درصد داتم و 10 درصد پلی‌گلیسرول استر می‌باشد.

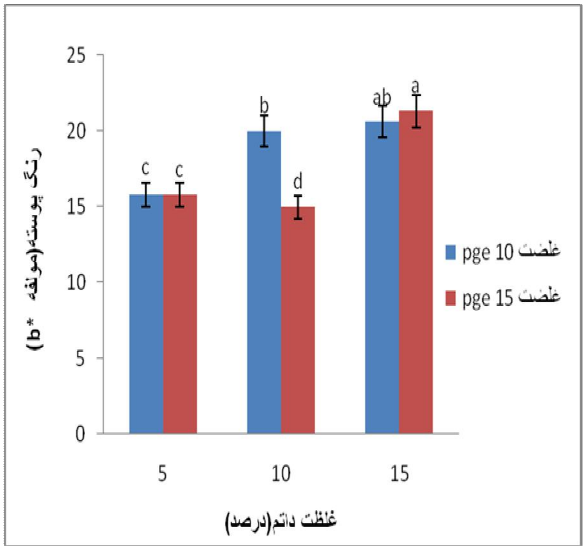
پوسته کیک روغنی مؤلفه (*b)

*b بیانگر میزان آبی یا زرد بودن رنگ است. همان‌طور که در شکل 7، مشخص است کمترین میزان مؤلفه *b ، مربوط به ژل

امولسیفایر حاوی 10 درصد داتم و 15 درصد پلی‌گلیسرول استر می‌باشد.



شکل 6- تأثیر غلظت های مختلف داتم و پلی گلیسرول استر در ژل امولسیفایر بر مؤلفه (*a) پوسته کیک روغنی



شکل 7- تأثیر غلظت‌های مختلف داتم و پلی‌گلیسرول استر در ژل امولسیفایر بر مؤلفه (*b) پوسته کیک روغنی

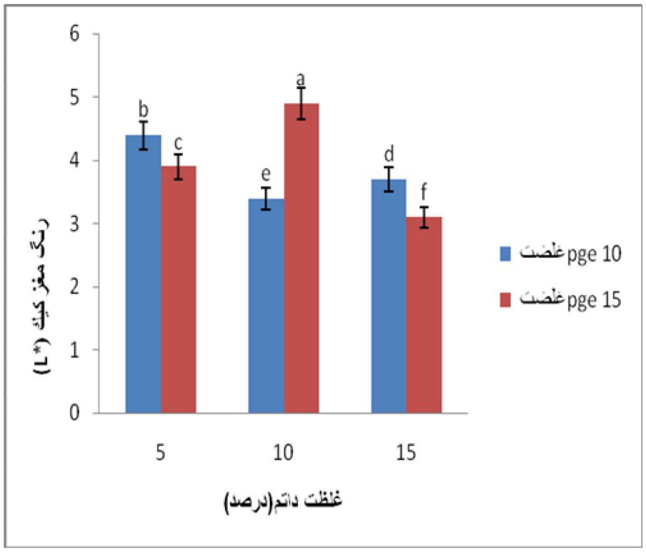
رنگ مغز کیک روغنی

*L در واقع به معنی روشنی می‌باشد و هرچه مقدار عددی این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهنده رنگ روشن‌تر و بهتر محصول است. همان‌طور که در شکل 8، مشاهده می‌گردد بیشترین مولفه (*L)، مغز کیک روغنی مربوط به کیک تولید شده با ژل امولسفایر حاوی 15 درصد پلی‌گلیسرول استر و 10 درصد داتم می‌باشد که سبب افزایش در مولفه *L شد. غلظت مناسب امولسیفایر پلی‌گلیسرول استر در مجاورت غلظت مناسب امولسفایر داتم به دلیل یکنواخت و ریز نمودن حباب‌های هوا سبب روشنی مغز کیک می‌شوند با استفاده از امولسیفایرها حباب‌های هوا به‌صورت یکنواخت و ریز در تمام قسمت‌های خمیر پخش می‌شوند و در طول زمان پخت خروج هوا از این حباب‌ها به شکل یکنواخت صورت می‌گیرد (وایت هورست، 2004).

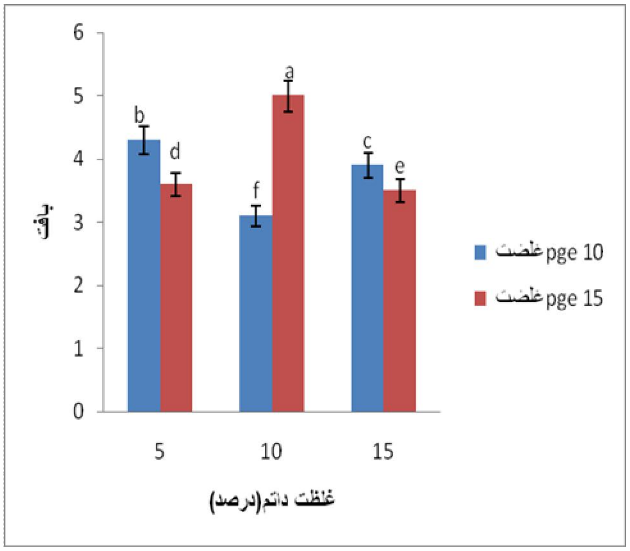
خصوصیت حسی(بافت)

همان‌طورکه در شکل 9 مشاهده می‌گردد بیشترین امتیاز از نظر

پانلیست‌ها از نظر بافت کیک روغنی مربوط به ژل امولسفایر حـاوی 15درصدپلی‌گلیسرول‌استر10 درصد داتم مـی‌باشـد. در همـین راسـتا آشـوینی و همکـاران (2009)، دریافتنـد کـه امولسـیفایرهای سـدیم استئارویل 2 – لاکتیلات و گلسیرول منواستئارات سبب افزایش امتیاز بافت کیک‌های بدون تخم‌مرغ شوند.



شکل 8- تأثیر غلظت‌های مختلف داتم و پلی‌گلیسرول استر در ژل امولسیفایر بر مولفه (*L)مغز کیک روغنی



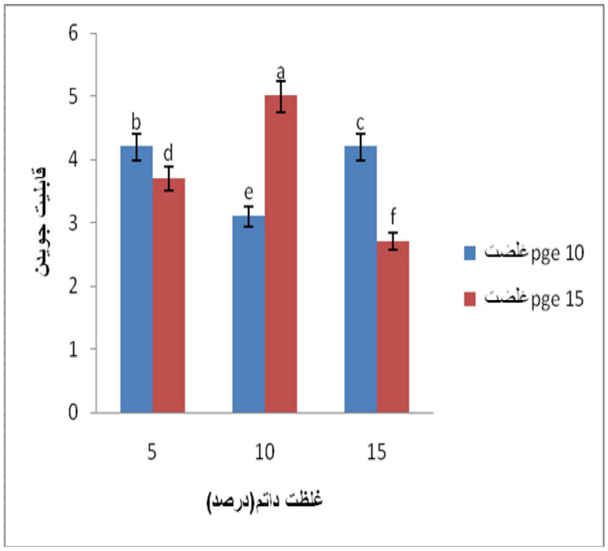
شکل 9- اثر غلظت مختلف داتم و پلی‌گلیسرول استر در ژل امولسیفایر بر خصوصیت حسی بافت کیک روغنی

خصوصیات حسی (قابلیت جویدن کیک روغنی)

همان‌طور که در شکل 10 مشاهده می‌گردد بیشترین امتیاز از نظر پانلیست‌ها از نظرقابلیت جویدن کیک روغنی مربوط به ژل امولسفایر حاوی 15 درصد پلی‌گلیسرول استر و10 درصد داتم می‌باشد در همین راستا نقش امولسیفایرها در افـزایش امتیـاز پـذیرش کلـی در نتـایج آشـوینی و همکـاران (2009) و کـوچکی و همکـاران (1385) قابـل مشاهده بود.

به‌طورکلی امولسیفایرها در خمیر کیک در سطوح حد فاصل بـین دو فاز روغن و آب به شکل یک غشـاء تـک لایـه‌ای بـه فـرم آلفـا کریستاله می‌شوند .افزودن یـک امولسـیفایر ثانویـه موجـب تشـدید

شکل‌گیری لایه نازک تولید شده و در نتیجه تقویت اثر امولسیفایری می‌گردد(ترابی‌زاده،1381).



شکل 10- اثر غلظت مختلف داتم و پلی‌گلیسرول استر در ژل امولسیفایر بر قابلیت جویدن کیک روغنی

نتیجه‌گیری

نتایج به روشنی نشان داد که مناسب‌ترین ترکیب مواد در فرمول ژل عبارت بود از امولسیفایرداتم (10 درصد) پلی‌گلیسرول استر (15 درصد) و منوگلیسرید (60 درصد) بود. این ترکیب ژل امولسیفایر بیشترین اثر را درافزایش حجم مخصوص L* پوسته و مغز، کاهش افت رطوبت کیک یک هفته بعد از پخت و کاهش سفتی کیک داشت. همچنین این نمونه کیک بیشترین امتیاز بافت را در ارزیابی حسی به خود اختصاص داد.

منابع

Ashwini, A., Jyotsna, R ., Indrani, D. 2009. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. *J of food Hydrocolloids*. 23(3). 700–707.

Azizi, M.H. and Rao, G.V. 2004. Influence of selected surfactant gels and gums on dough rheogical characteristics and quality of bread. *Journal of Food Quality*, 27: 320-336.

Azizi, M.H. and Rao, G.V. 2005. Effect ofstorage of surfactant gels on bread makingquality of wheat flour. *Food Chemistry*.89: 133-138.

Baker, S. (2010).Maximizing the use of food emulsifiers.30-45.

Bennion, M. 1990. Fats, Frying, and Emulsions. In: Introductory Foods. Macmillan Publishing Co., New York, Chapter13. 219-249.

Dasappa, I and Gandham, V. 2008. Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods.chapter2. CRC Press. 31–48.

Goldstein, A and Marngoni, A. 2012. Monoglyceride stabilized oil water emulsions: an investigation of structuting and shear history on phase behaveiour. *J of Food Biophysics*. 7(3):227-235.

Hasenhuettl, G.L. and Hartel R. w. 2008. Food emulsifiers and their application, Springer science+ business media LLc.second edition. 17-18.

Henry, C. 1995. Monoglycerides: the universal emulsifier. Cereal Foods World, 40(10):734-738.

Koocheki, A, 2003, Modeling the factors affecting shelf life of Iranian flat bread, Thesis.

Krog, N.J. and Sparsø, F.V. 2004. Food Emulsifiers: Their Chemical and Physical Properties, in Food Emulsions, (editors: S.E. Friberg and K. Larsson). Marcel Dekker: New York. pp. 45-91.

Payan, R, 2005, Introduction to technology of cereal products, Tehran, Aeizh Publishing, PP; 314-315.

Prabhasankar,P and Rajiv,J . 2006. Cake composition with an emulsifier. us patent 0286278A1.

Lermond, E. 1970. Method for sensory evaluation of food. Food Research Institute. Central Experimental Farm. Ottawa, Canada. *Department of Agriculture Publication* 1284: 27-30

Rajabzadeh,N,2003,Fundamentals of creal technology , university of Tehran Publishing,pp:143-145.

Richarson, G, M. Longton, P. FaldtHermansson. 2002. Microstructure of alpha-Crystalline Emulsifiers and Their Influence on Air Incorporation in Cake Batter. *Cereal Chemistry.* 79: 546-552.

Richardson, G., Bergenståhl, B., Langton, M.,Stading, M. and Hermansson, A. 2004. Thefunction of (alpha)-crystalline emulsifierson expanding foam surfaces. *FoodHydrocolloids*, 18(4): 655-663.

Ronda, F., Gomes, M., Blanco, C.A. and Caballero, P.A. 2005. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the uality of sugar-free sponge cakes. *J. Food Chemistry*. 90:549-555.

Shireed, S and Charles, A. 2007. monoglyceride and their compositions and processes of producing the sauer , Us patent 2007/0009643.

Shepard, I.S., and Yoell, R.W. 1976. Cake emulsions. In: Food Emulsions. Edited by (S.Friberg, ed.). Marcel. Dekker, Inc. New York. 270-274. Chapter 5.

Silva RF.2000 .Uses of α-crystalline emulsifiers in the sweet good s industry .*Cereal Food* World 45(9). 405-11.

Stanly, p., Caurain, Y. 2006.Baked products:Science, Technology and Practice,UK, Blackwell Publishing P:1.

Torabizadeh, H, 2002, Food Emulsions and Emulsifiers, Tehran, Aeizh Publishing, PP:70-73.

Turabi, E., Sumnu, G., and Sahin, S. 2008. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with differentgums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 26:305-312.

Whitehurst, R. J., 2008.Emuelsifiers in food Technology. Wiley-Blackwell, p.p. 26,120,122,128.

Ziaeyan, M, 2002,Food emulsions and their applications ,Arvan Publishing

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 771-783

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 783-771

Investigation the effect of polyglycerol ester and diacetiyltartaric acid ester in the form of gel on physicochemical, rheological and sensory properties of oily cake

M. Ghanadrezaee[1], A. Arianfar[2*], Z. Sheikholeslami[3]

Received: 2016.03.23
Accepted: 2016.10.29

Introduction: Application of emulsifiers is important in production of good quality cake. Monoglycoside and its derivatives, sterol lactilat, propylene glycol, Mono stearate, Mono stearate sorbitan, polysorbate, lecithin are used as Emulsifiersin in cake industry. Emulsifier that is used as a gel form in production of cakes , called cake gel. The use of gel cake in the cake batter increases distribution of air bubbles and resulting viscosity was increased and form a better texture and volume of the cake.Today, crystalline alpha gel of glycerol ester with alpha gel monoglycerides and propylene glycol stearate gel was used in the production of cakes. The stable Alpha gel wiche made from a mixture of monoglycerides and polyglycerol ester glycerol have impact effect on cake quality. The purpose of this study was to investigated the effect of Datem emulsifiers in three levels (5, 10 and 15%) poly glycerol in two levels (10 and 15%) and monoglycoside (60%) in gel emulsifier formulation to improve physicochemical, rheological and sensory properties of oil cake. The color index (L *, a * and b *), specific volume, texture and moisture of the cake were evaluated. The results showed that Datm emulsifier in (10%) with polyglycerol at 15% concentrations in gel emulsifier formulation had the best result on quality properties of cake.

Material and methods: The materials was used in the production gel Emulsifier includs, glycerol (co-Timer Network Malaysia), sorbitol (Omid company) and Propylene glycol (Kimiya garan Emroz Chemical Industry Co.) was prepared. Materials for production of cakes containing wheat flour (Khorasan Co.) with moisture content (14%), protein (8.5%), ash (48%), PH (6.2%), eggs (Telavang Co.), vanilla from (AROMA Company), liquid vegetable oil (Laden Company) invert syrup (Simorgh Co) were prepared. baking powder (Mahsa) was purchased from local market. Sugar with fine white crystals bought in batches of 15 kg and was kept in the Store for consumption.Ingredients of gel Emulsifier formulation were mixed together Continuous agitation, the mixture then heated at temperature of 70 ° C In order to prepare the cake batter, the ingredients were weighed according to the formulation. The Moisture content of cup cake was measured 2 hr and 1 week after baking according to AACC- methods (AACC, 2000). Specific volume was determined an hour after baking based on rapeseed displacement method (AACC 2000). TPA test of cup cake was measured by A QTS texture analyser (CNS Farnell, Hertfordshire, UK) to measure the force required for penetration 2h and 1 week after baking. The color of cup cake determined by L*, a* and b* index, by using image j software after 2 hr, by (HP Scanjet , G 3010). Sensory evaluation was performed by 10 trained panellists and the overall quality of cake was evaluated using a ranking scale with scores ranging from 1 (least pleasure) to 5 (best pleasure).In this study, some sensory properties including odor, taste, texture and overall quality (total acceptance) of cup cake were evaluated. Results were reported as the average of three replications (all treatments were evaluated in three batches). In order to assess significant differences among samples, a complete randomized design of triplicate analyses of samples was performed using the Mstat-c. Duncan's new multiple range tests were used to study the statistical differences of the means with 95% confidence.

Results and discussion: The results showed that gel emulsifier formulation with (10%) concentrations of Datm and (15%) concentration of polyglycerol are suitable in gel emulsifier formulation, This formula was increased the volume, L* index of crust and crumb of cake and sensory properties such as texture, Chewiness and reduced firmness of cake and moisture loss content over 1 week after the baking . Increasing the specific

1. Department of Food Science & Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.
2. Young Researchers and Elite club, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.
3. Associate Professor of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources. Research and Education Center, AREEO, Mashad, Iran
(*Corresponding author: a_aria_1443@yahoo.com)

volume of cakes is due to the formation of alpha crystal films around the air bubbles, and trapping air bubbles in the dough. This phenomen was reduced surface tension of fat phase and improved spread ability of the fat phase in the cake batter, thus increasing the volume and softness of cake. Reduction of cake Firmness is due to interaction of emulsifiers with starch that is prevent retrogradation phenomenon. increasing of polyglycerol ester concentration in gel emulsifier formulation, improved the moisture maintain during baking and prevent from rough and wrinkled skins in the final product and therefore increases L^* index.

Key words: Oil Cake, Poly Glycerol Ester, Gel Emulsifier, Datem, Physicochemical Properties, Sensory Properties.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 784-797

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 797-784

ارزیابی خواص ضدباکتریایی فیلم زیست‌فعال کیتوزان حاوی اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس*

احسان آزادبخت[1]- یحیی مقصودلو[2*]- مرتضی خمیری[3]- محبوبه کشیری[4]

تاریخ دریافت: 1395/04/14
تاریخ پذیرش: 1395/08/08

چکیده

بسته‌بندی ضدمیکروبی یک نوع بسته‌بندی فعال است که مهاجرت پیوسته ترکیبات ضدمیکروبی به سطح ماده غذایی را فراهم می‌سازد. در این تحقیق خاصیت ضدمیکروبی اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* علیه دو باکتری گرم مثبت (*استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سرئوس*) وگرم منفی (*اشرشیا کلای و سالمونلا اینتریتیدیس*) با روش‌های دیسک دیفیوژن ، چاهک میکروپلیت و همچنین تاثیر اسانس اکالیپتوس در محیط مایع و بخارات آن بررسی شد. فیلم زیست کامپوزیت کیتوزان حاوی اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* (در غلظت‌های 0/5، 1 و 1/5 درصد حجمی/ حجمی) با روش قالب‌گیری تولید و فعالیت ضدمیکروبی آن‌ها در فاز بخار و در تماس مستقیم با محیط مایع مورد ارزیابی قرار گرفت. حداقل غلظت بازدارندگی اسانس علیه باکتری‌های گرم منفی و مثبت به‌ترتیب 3/125 و 1/562 میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. هم‌چنین قطر هاله بازدارندگی باکتری‌های گرم مثبت از گرم منفی بیشتر بود. ترتیب اثر اسانس روی باکتری‌ها بر اساس اندیس لگاریتم کاهشی به‌صورت: *استافیلوکوکوس اورئوس* > *باسیلوس سرئوس* > *اشرشیا کلای* > *سالمونلا اینتریتیدیس* بود. بخار اسانس در ترکیب با فیلم کیتوزان در سطح 1 و 1/5 درصد اسانس قادر به کاهش دانسیته میکروبی بود و همچنین اندیس لگاریتم کاهشی فیلم کیتوزان با افزایش غلظت اسانس از 0/5 به 1/5 درصد در محیط مایع افزایش یافت. بر اساس این نتایج فیلم زیست کامپوزیت کیتوزان حاوی 1/5 درصد اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* در تماس مستقیم با مواد غذایی به‌عنوان یک ترکیب ضدمیکروبی مناسب در بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی ضدمیکروبی، اسانس اکالیپتوس، کیتوزان

مقدمه

اثرات زیان‌بار نگهدارنده‌های شیمیایی و نگرانی مصرف‌کنندگان سبب افزایش تمایل استفاده از انواع ترکیبات طبیعی گردیده است. ترکیبات ضدمیکروبی در تماس مستقیم ماده غذایی و یا به‌طور غیرمستقیم با قرار دادن در پلیمرهای بسته‌بندی قادر به کاهش یا به تاخیر انداختن رشد میکروارگانیسم‌ها می‌باشند (Guarda *et al*., 2011). بسته‌بندی ضدمیکروبی یک نوع بسته‌بندی فعال است که مهاجرت پیوسته ترکیبات ضدمیکروبی به سطح ماده غذایی را فراهم می‌سازد به‌طوری که این تداوم رهایش ترکیبات ضدمیکروبی، اجازه رشد به سلول‌های ترمیم یافته میکروبی را نخواهد داد. بنابراین از بسته‌بندی ضدمیکروبی به‌عنوان یک تکنولوژی هردل جهت افزایش امنیت و بهبود کیفیت مواد غذایی یاد می‌شود (Muriel-Galet *et al*., 2012).

تولید پلاستیک‌های زیستی در سال 2010 میلادی 724 هزار تن گزارش شده است. پتانسیل تولید جهانی این پلاستیک‌ها، بر اساس گزارش چشم‌انداز توسعه زیست پلاستیک‌ها در سال 2020، بیش از 3/45 میلیون تن پیش بینی شده است (Shen *et al*, 2010). کیتوزان پلی‌ساکارید پلی‌کاتیونیک و زیست تخریب‌پذیر است که در نتیجه دی‌استیل‌زدایی کیتین به‌دست می‌آید. این پلیمر به‌دلیل وزن ملکولی بالا و حلالیت در محلول‌های اسیدی، توانایی تشکیل ژل و فیلم دارد (Ghanem & Skonbery, 2002) و همچنین این پلیمر کاربردهای فراوانی در پزشکی، غذا، کشاورزی و صنایع شیمیایی دارد (Kurita, 2006). خواص ضدمیکروبی محلول و فیلم کیتوزان به وزن ملکولی کیتوزان (درجه دی‌استیله شدن و وزن ملکولی)، دیگر ترکیبات سیستم (نوع و غلظت اسید، حضور پروتئین، لیپید، یون‌ها و دیگر ترکیبات غذایی) و شرایط محیطی (دما و رطوبت نسبی) وابسته است (Zheng & zhu, 2003; Synowiecki & Al-khateeb, 2003). بنابراین خواص ضدمیکروبی یک فیلم بسته‌بندی تحت تاثیر نوع ترکیب ضدمیکروبی، ماهیت پلیمر و تعامل بین ترکیبات ضدمیکروبی و پلیمر

1، 2، 3 و 4- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(* - نویسنده مسئول: Email: yahyamaghsoudlou@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.57272

قرار دارد (Quintavalla & Vicini, 2002). با توجه به عدم تشابه سرعت رهایش و تبخیر ترکیبات ضدمیکروبی در پلیمرهای آب دوست و آب‌گریز، بروز خواص ضدمیکروبی طی دوره نگهداری در این پلیمرها نیز یکسان نخواهد بود.

گیاه اکالیپتوس بومی استرالیا و از خانواده میرتاسیا[1] می‌باشد که حدود 900 گونه و زیر گونه دارد (Brooker & Kleiling, 2004). اسانس گونه‌های مختلف میرتاسیا علاوه بر فعالیت‌های ضدالتهابی و ضددرد (Silva *et al*., 2003)، به‌عنوان ترکیبات ضدباکتریایی و ضدقارچی در محصولات بهداشتی (Lis-Balchin, 2000) و صنایع غذایی (Zivanovic *et al*., 2005; Draughen, 2004) مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین ترکیبات اسانس می‌توان به الکل‌ها، آلدهیدها، استرها، اترها، کتون‌ها، فنول‌ها و ترپن‌ها اشاره کرد که خاصیت ضدمیکروبی آنها گزارش شده است (Soliman & Badeaa, 2002; Suresh *et al*., 1992; Ouattaraet *et al*., 1997). ترکیبات شیمیایی و اثرات بیولوژیکی اسانس‌های روغنی شامل خواص ضدمیکروبی و کاربردهای بالقوه آنها در محصولات غذایی مورد تحقیق قرار گرفته است (Bakkali *et al*., 2008)، از این رو به‌عنوان یک افزودنی در مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Botsoglouet *et al*., 2002 ; Takahashi *et al*., 2004). ممکن است اسانس در ترکیب با فیلم علاوه بر افزایش خاصیت ضدمیکروبی فیلم سبب کاهش نفوذپذیری به بخار آب و همچنین کاهش اکسیداسیون لیپیدی محصول پوشش داده شده با فیلم گردد (Duke & Beckstrom-Sternberg, 1994; Yanishlieva *et al*., 1999).

ترکیبات فعال می‌توانند خواص ضدمیکروبی فیلم کیتوزان را بهبود بخشند که در این بین می‌توان به اثر اسانس بر خواص باکتری‌کشی و قارچ‌کشی فیلم کیتوزان اشاره کرد (Ali *et al*., 2015). اخیراً، اسانس‌های مختلفی مثل میخک، کارواکرول، پونه کوهی و برگ لیمو با کیتوزان ترکیب شده‌اند و خواص ضدمیکروبی خوبی علیه طیف مختلفی از میکروارگانیسم‌ها بدست آمده است (Fernández-Pan *et al*., 2015; Lekjing *et al*., 2016). همچنین Ojagh و همکاران (2010) سازگاری منحصر به فردی بین کیتوزان و اسانس دارچین و نیز بهبود خواص ضدمیکروبی فیلم تولیدی را گزارش کردند. فیلم‌های محتوای اسانس دارچین برای پوشش دهی غذاهای فسادپذیر مثل ماهی و ماکیان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس گزارش Gómez-Estaca و همکاران (2010)، فیلم کیتوزان-ژلاتین غنی شده با اسانس میخک جهت پوشش ماهی در طی انبارمانی سرد استفاده شد و نتایج نشان داد که فیلم زیستی حاوی میخک سبب تاخیر و یا بازداری رشد میکروارگانیسم‌ها و افزایش انبارمانی ماهی گردید.

در این تحقیق اثرات ضدمیکروبی اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس*[2] روی باکتری‌های بیماری‌زا و همچنین خاصیت ضدمیکروبی فیلم کیتوزان حاوی اسانس بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* (شرکت باریج اسانس کاشان)، کیتوزان (شنگ بایو کم-چین)، سویه‌های باکتریایی *استافیلوکوکوس اورئوس، باسیلوس سرئوس، اشرشیا کلای و سالمونلا اینترتیدیس* (کلکسیون میکروارگانیسم‌های صنعتی ایران)، محیط کشت‌های مولار هینتون آگار و براث (مرک، آلمان) و تریپتوز سوی آگار و براث (اسکارلب، اسپانیا)، گلیسرول (شرکت پانرک، اسپانیا) و اسید استیک خالص (مرک، آلمان) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند.

ترکیبات شیمیایی اسانس

اسانس اکالیپتوس از شرکت باریج اسانس کاشان تهیه گردید. پس از تهیه اسانس و عبور آن از میکرو فیلترهای 0/45، ظرف حاوی اسانس در فویل آلومینیومی در یخچال در جای تاریک نگهداری شد. آنالیز ترکیبات شیمیایی آن توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌نگار جرمی انجام گردید. این دستگاه از نوع ترموکوئست تریس جی سی 2000 فینیکان (انگلستان) بود. ترکیبات اسانس بر اساس مقایسه مدت زمان بازداری نسبی و اجزای طیف‌های جرمی آنها با مقادیر ذخیره شده در کتابخانه کامپیوتری وایلی و نایست (موسسه ملی استاندارد و فناوری) (Adams, 2001) شناسایی و بر اساس میانگین دو تزریق اسانس تعیین مقدار گردید.

آماده سازی سویه‌های باکتریایی و شرایط کشت

اشرشیاکلای O157:H، استافیلوکوکوس اورئوس، سالمونلا اینترتیدیس و *باسیلوس سرئوس* از مرکز کلکسیون میکروارگانیسم‌های صنعتی ایران تهیه و در این مطالعه به‌کار رفت. باکتری‌ها روی محیط کشت مولار هینتون آگار در 37 درجه سانتی‌گراد به مدت 18 ساعت کشت و پس از فعال‌سازی، یک لوپ باکتری به 10 میلی‌لیتر مولار هینتون براث تلقیح و به مدت 24 ساعت در 37 درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید (دانسیته نوری 0/9 در طول موج 600 نانومتر بیانگر ابتدای فاز سکون می‌باشد). در مرحله بعد برای رسیدن به فاز لگاریتمی رشد، 100 میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی آماده شده، در 10 میلی‌لیتر مولار هینتون براث رقیق و در دمای 37 درجه سانتی‌گراد تا حصول دانسیته نوری 0/2 در طول موج 600 نانومتر نگهداری شد (Salarbashi *et al*., 2014).

---

1 *Myrtaceae*

2 *Eucalyptus globulus*

بررسی خواص ضدمیکروبی اسانس اکالیپتوس

تعیین حداقل غلظت بازدارندگی[1]

به‌منظور تعیین حداقل غلظت بازدارندگی رشد اسانس اکالیپتوس از روش چاهک در میکروپلیت استفاده شد. تریپتوز سوی براث به همراه 0/5 درصد آگار و 5 درصد دی‌متیل‌سولفوکسید در آب مقطر حل و استریل شد. پس از سرد شدن، رقت‌سازی انجام شد. پلیت‌های 96 چاهکی به کمک توزیع 190 میکرولیتر از محیط تریپتوز سوی براث و 10 میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی اشاره شده در فوق به هر یک از چاهک‌ها اضافه شد. غلظت اولیه اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* 25 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. موارد کنترل این آزمایش شامل کنترل مثبت (190 میکرولیتر محیط فاقد اسانس و 10 میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی) جهت خنثی نمودن تاثیر ضدباکتریایی دی‌متیل‌سولفوکسید و نیز کنترل منفی برای هر چاهک (200 میکرولیتر محیط اسانس و فاقد باکتری) در نظر گرفته شد. هر غلظت در سه تکرار انجام شد. میکروپلیت با درپوش استریل پوشانده و به مدت 60 ثانیه با 100 دور در دقیقه مخلوط و سپس در 37 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت گرمخانه گذاری شد. پس از این مدت زمان، رشد میکروبی و کدورت چاهک‌های حاوی اسانس و باکتری در مقایسه با چاهک‌های کنترل با اندازه‌گیری میزان جذب در طول موج 620 نانومتر تعیین گردید. چاهک‌های واجد کدورت از لحاظ رشد مثبت تلقی شدند و کمترین غلظت اسانس که از رشد باکتری جلوگیری نمود و محیط موجود در چاهک مربوط به آن شفاف بود به عنوان حداقل غلظت بازدارندگی تلقی گردیدند (Kim, 2008).

دیسک دیفیوژن

برای تعیین قطر هاله بازدارندگی دیسک‌های کاغذ صافی به قطر 25 میلی‌متر تهیه و استریل شدند. روی محیط مولار هینتون آگار 100 میکرولیتر باکتری در دانسیته نوری 0/2 درصد ریخته شد و با میله شیشه‌ای به‌طور کامل پخش گردید. سپس دیسک در مرکز پلیت‌های به قطر 8 سانتی‌متر قرار داده و غلظت‌های 10، 25، 50، 75 و 100 میکرولیتر اسانس روی کاغذ صافی ریخته شد. نمونه کنترل دیسک بدون اسانس در نظر گرفته شد. پس از 24 ساعت قطر هاله اندازه گیری شد (Muriel-Galet *et al.*, 2012).

خاصیت بازدارندگی بخار اسانس اکالیپتوس

100 میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری‌های آماده شده، به‌طور یکنواخت با استفاده از سوآپ استریل، روی محیط تریپتوز سوی آگار پخش گردید. دیسک‌های کاغذی استریل شده به سطح فوقانی پلیت‌ها چسبانده و اسانس اکالیپتوس در پنج سطح غلظت 10، 25، 50، 75 و 100 میکرولیتر به دیسک اضافه شد. در ادامه جهت خروج ترکیبات فرار اسانس، هر یک از پلیت‌ها با پارافیلم محصور و در دمای 37 درجه سانتی‌گراد به‌مدت 24 ساعت نگهداری شدند (Muriel-Galet *et al.*, 2012).

اندیس لگاریتم کاهشی

غلظت‌های مختلف اسانس شامل 10، 25 و50 میکرولیتر داخل تریپتوز سوی براث در شرایط کاملاً استریل قرار داده شد و 100 میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی در فاز لگاریتمی رشد (جمعیت میکروبی تقریبی 10^5 CFU/ml) اضافه شد و پس از 24 ساعت در دمای 37 درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری و باتوجه به کدورت محلول، رقت‌سازی و جهت شمارش تعداد میکروب‌ها در تریپتوز سوی آگار کشت داده شدند.

تهیه فیلم

فیلم‌های برپایه کیتوزان بر اساس روش قالب‌گیری تولید می‌شوند (Ojagh *et al.*, 2010) و این روش با کمی اصلاحات همراه بود. محلول تشکیل‌دهنده فیلم کیتوزان به وسیله حل کردن 1/5 درصد وزنی- حجمی کیتوزان در محلول آبی محتوای 0/7 درصد استیک اسید تهیه شد و روی یک همزن مغناطیسی در دمای 40 درجه سانتی‌گراد همزده شد. سپس محلول کیتوزان تهیه شده توسط کاغذ واتمن صاف شد تا ناخالصی‌های غیر محلول جدا شود. پس از فیلتر کردن به محلول صاف شده گلیسرول (10 درصد وزن پلیمر) به‌عنوان پلاستی سایزر اضافه گردید و به مدت 10 دقیقه همزده شد. اسانس اکالیپتوس با غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد حجمی- حجمی به محلول اضافه گردید و به مدت 5 دقیقه همزده شد. سپس با استفاده از دستگاه هموژنایزر (D91126، هایدولف، آلمان) محلول به مدت 4 دقیقه با دور 12000 هموژن گردید. محلول شکل گرفته به مدت 10 دقیقه هواگیری شد و 25 میلی‌لیتر در مرکز پلیت (8 سانتی‌متر) ریخته شد. سپس فیلم در داخل آون در دمای 38 درجه سانتی‌گراد خشک گردید. پس از خشک شدن، فیلم از سطح پلیت جدا و مورد ارزیابی قرار گرفت.

خاصیت ضدباکتریایی فیلم زیست‌فعال کامپوزیت کیتوزان حاوی اسانس در محیط مایع

0/25 گرم از فیلم زیست کامپوزیت کیتوزان حاوی اسانس اکالیپتوس در 10 میلی‌لیتر تریپتوز سوی براث در شرایط کاملاً استریل قرار داده شد و 100 میکرولیتر سوسپانسیون میکروبی در فاز لگاریتمی رشد (جمعیت میکروبی تقریبی 10^5 CFU/ml) اضافه شد و پس از 24 ساعت در دمای 37 درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری و با توجه به

1 Minimal Inhibitory Concentration (M.I.C)

کدورت محلول، رقت سازی و جهت شمارش تعداد میکروب‌ها در تریپتوز سوی آگار کشت داده شدند (Muriel-Galet *et al*., 2012).

خاصیت بازدارندگی فیلم زیست‌فعال کیتوزان حاوی اسانس اکالیپتوس

100 میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری‌های آماده شده به‌طور یکنواخت با استفاده از سوآپ استریل روی محیط کشت تریپتوز سوی آگار پخش گردید. فیلم‌های زیست کامپوزیتی کیتوزان حاوی اسانس به قطر 3 سانتی‌متر تهیه و به درب پلیت‌ها برای ارزیابی خاصیت بازدارندگی بخار اسانس اکالیپتوس بدون تماس مستقیم با میکروارگانیسم‌ها چسبانده شدند و به مدت 24 ساعت در 37 درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه گذاری شدند. قطر منطقه بازدارندگی به‌عنوان نتیجه گزارش گردید (Muriel-Galet *et al*., 2012).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق آزمایشات میکروبی در قالب طرح کاملا تصادفی با 3 تکرار انجام شد. اثر عوامل مورد بررسی با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) ارزیابی گردید و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری 5 درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی اسانس اکالیپتوس

براساس طیف‌سنجی انجام شده شش ترکیب مهم در اسانس شناسایی و در جدول 1 خلاصه شده است. ترکیب اصلی اسانس 1و 8 سینئول ($C_{10}H_{18}O$) بود. رنگ اسانس تقریبا بی‌رنگ متمایل به زرد بود. ثقل ویژه، شاخص انکسار و چرخش نوری به‌ترتیب برابر با 0/904 گرم بر میلی‌لیتر، 1/45 و 2/55 بود.

جدول 1- ترکیبات قابل شناسایی در اسانس اکالیپتوس با استفاده از طیف‌سنج جرمی

ترکیبات اسانس	درصد	شاخص بازداری
1و8 سینئول	78/07	1231
آلفا پینن	3/4	1038
بتا پینن	0/47	1610
لیمونین	7/9	1235
آلفا فلاندرین	0/7	1173
مجموع	90/54	

1 و 8 سینئول ترکیب اصلی اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* می‌باشدکه 78/07 درصد از ترکیبات اسانس را تشکیل داده است. بر اساس گزارش Shieh (1996)، Tsiri و همکاران (2003)، Cimanga و همکاران (2002) و Su و همکاران (2006) مهمترین ترکیب اصلی اسانس اکالیپتوس 1و8 سینئول بودکه با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مطابقت داشت. خاصیت ضدمیکروبی قوی این ترکیب در اسانس *E. Staigeriana* مقابل باکتری‌های بیماری‌زا و فسادزا شامل *استافیلوکوکوس اورئوس و فوزاریوم سولانی*، *اشرشیا کلای و باسیلوس سرئوس* (Pitarokili *et al*., 2003 ؛ Sonboli *et al*., 2006) گزارش شده است. بر اساس نتایج محققان فعالیت ضدمیکروبی اسانس اکالیپتوس به ترکیبات شیمیایی آنها (Cimanga, 2002 ; Inouye *et al*., 2001) از قبیل گروه‌های عملگرا (الکل، فنول، ترپن‌ها و کتون‌ها) نسبت داده شده است (Sartorelli *et al* ., 2007). Bakkali و همکاران (2008) دریافتند که ترکیباتی مثل لیمونین، لینالول، گاما- ترپینن، *p-cymene*، آلفاپینن و آلفاترپینول‌ها به‌طور نسبی افزودنی‌های با فعالیت ضدمیکروبی قوی می‌باشند. اگرچه ترکیبات اصلی و غالب اسانس به عنوان عوامل اصلی باکتری‌کشی محسوب می‌شوند اما بعضی از مطالعات نشان می‌دهند که ترکیبات با مقدار کم ممکن است اثرات هم‌افزایی داشته باشند (Tyagi & malik, 2011). در این تحقیق اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* دارای لیمونین (7/9 درصد)، آلفا- پینن (3/4 درصد)، بتا- پینن (0/47 درصد) و آلفا– فلاندرین (0/7 درصد) می‌باشد که در جدول 1 به آنها اشاره شده است. ترکیبات اسانس منجر به تخریب غشا و مرگ سلول باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی می‌شوند (Oussalah *et al*., 2006) و به‌علت حضور چنین ترکیباتی، خاصیت ضدمیکروبی اسانس اکالیپتوس می‌تواند افزایش یابد (Gilles *et al*, 2010).

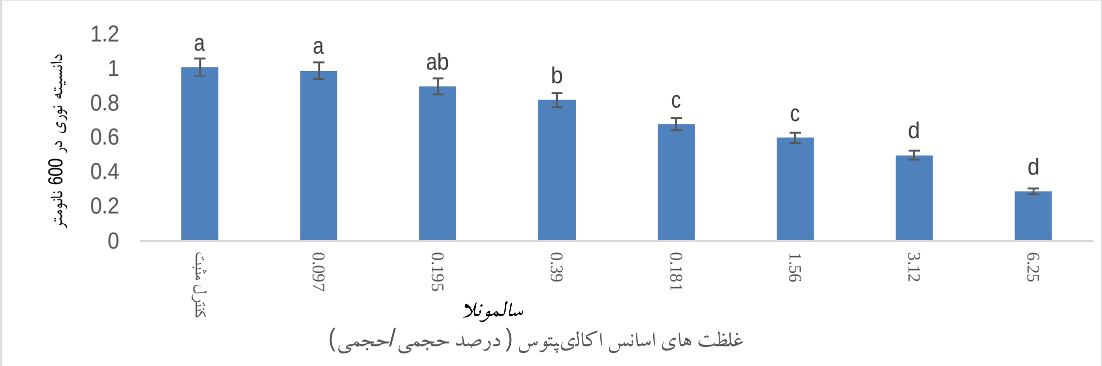
بررسی خواص ضدمیکروبی اسانس اکالیپتوس

تعیین حداقل غلظت بازدارندگی

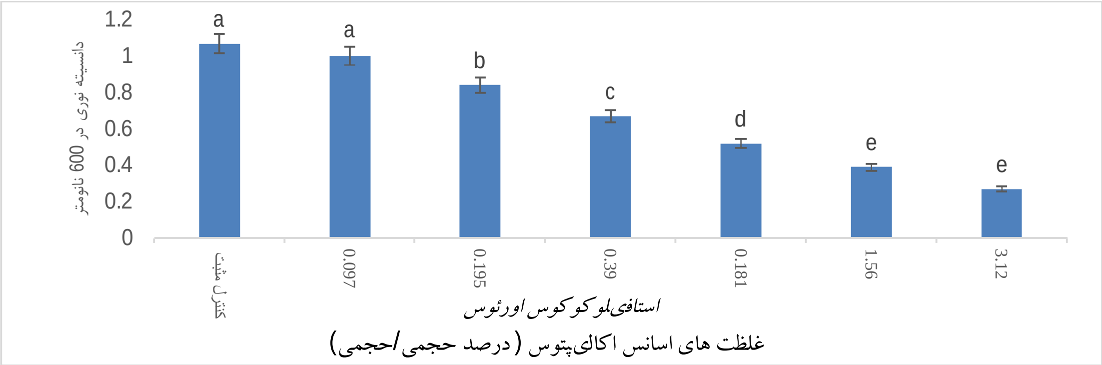
تحقیقات جدید بر پایه توسعه و گسترش روش‌های جدید بهبودیافته نگهداری مواد غذایی بنا شده است و به‌علت عدم تمایل مصرف‌کننده از افزودنی‌های مصنوعی، نیاز به جایگزین‌های که مصرف‌کنندگان به‌عنوان عوامل طبیعی قلمداد می‌کنند احساس می‌شود (Bakkali *et al*, 2008). از طرفی افزایش مقاومت باکتری‌های بیماری‌زا نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها به سبب کاهش اثر درمان و به دنبال آن افزایش مرگ و میر می‌تواند یک تهدید اصلی برای سلامت عمومی تلقی گردد (Jones, 2001). از این رو یافتن جایگزین ضدمیکروبی برای درمان میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا ضروری است. (Coppen, 2002). بر اساس نتایج تحقیقات مختلف، اسانس اکالیپتوس اثرات بیولوژیکی متفاوتی مثل ضدمیکروبی، ضدقند خون و همچنین خواص آنتی‌اکسیدانی دارد (Botsoglouet *et al*., 2002 ; Takahashi *et al*., 2004).

دانسیته نوری حاصل از 24 ساعت گرم‌خانه‌گذاری باکتری *اشرشیا کلای O157:H7* ، *سالمونلا اینترتیدیس*، *باسیلوس سرئوس* و *استافیلوکوکوس اورئوس* در رقت‌های مختلف در اشکال 1، 2، 3 و 4 نشان داده شده است. حداقل غلظت بازدارنده به‌عنوان حداقل غلظتی از اسانس که مانع رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود تلقی می‌گردد. حداقل غلظت بازدارندگی رشد باکتری‌های گرم منفی برابر با 3/12 میکروگرم بر میلی‌لیتر (شکل 1 و 2) و برای باکتری‌های گرم مثبت 1/56 میکروگرم بر میلی‌لیتر بود (شکل 3 و 4).

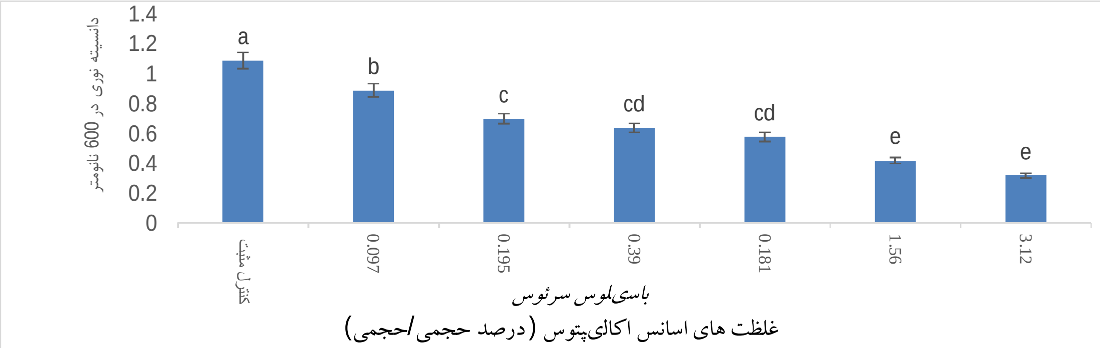
شکل1- میانگین دانسیته نوری مربوط به رشد *اشرشیا کلای* طی تیمار با غلظت‌های مختلف اسانس اکالیپتوس.کنترل مثبت فاقد اسانس بود.



شکل2- میانگین دانسیته نوری مربوط به رشد *سالمونلا اینترتیدیس* طی تیمار با غلظت‌های مختلف اسانس اکالیپتوس.کنترل مثبت فاقد اسانس بود.



شکل 3- میانگین دانسیته نوری مربوط به رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* طی تیمار با غلظت‌های مختلف اسانس اکالیپتوس.کنترل مثبت فاقد اسانس بود.



شکل 4- میانگین دانسیته نوری مربوط به رشد *باسیلوس سرئوس* طی تیمار با غلظت‌های مختلف اسانس اکالیپتوس.کنترل مثبت فاقد اسانس بود.

براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، باکتری‌های گرم منفی در مقایسه با باکتری‌های گرم مثبت از مقاوم بیشتری برخوردار بودند که دلیل این پدیده را می‌توان به اختلاف ساختار باکتری‌های گرم منفی در مقایسه با باکتری‌های گرم مثبت نسبت داد و همان‌طوری که می‌دانیم ترکیبات لیپو پلی‌ساکاریدی در غشای سلول باکتری‌های گرم منفی دسترسی به غشا را محدود می‌سازد (Tyagi & malik, 2010). در تطابق نتایج بدست آمده، حداقل غلظت بازدارندگی اسانس آویشن شیرازی در مقابل *اشرشیا کلای* نسبت به *لیستریا مونوسایتوژنز* کمتر بود (کشیری و همکاران، 1393).

خواص ضدمیکروبی اسانس اکالیپتوس و بخارات آن به روش انتشار دیسک

نتایج قطر هاله بازدارندگی رشد علیه باکتری‌های مورد بررسی در تماس مستقیم با سطح محیط کشت (جدول 2) و بخارات حاصل از اسانس (جدول 3) نشان داده شده است . نتایج نشان داد که باکتری‌های گرم مثبت (*استافیلوکوکوس اورئوس* و *باسیلوس سرئوس*) در مقایسه با باکتری‌های گرم منفی (*اشرشیا کلای* و *سالمونلا اینترتیدیس*) حساسیت بیشتری به اسانس داشتند. بر اساس گزارش محققان باکتری‌های گرم منفی نظیر *سودوموناس آئروژنز* در مقابل اسانس‌ها مقاوم بیشتری از خود نشان دادند (Gilles *et al*, 2010). قطر هاله بازدارندگی رشد ناشی از بخارات اسانس اکالیپتوس در روش دیسکی در مقایسه با تماس مستقیم کمتر بود و همچنین قطر هاله بازدارندگی رشد ناشی از بخارات اسانس باکتری‌های گرم مثبت بیش از گرم منفی بود که با نتایج به‌دست آمده از تاثیر بخارات اسانس *Tamarix boveanan* روی باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اپیدرمیدیس*، *اشرشیا کلای*، *سودوموناس آئروژنز* و *سالمونلا اینترتیدیس* مطابقت داشت (Saidana *et al*, 2008). همچنین قطر هاله بازدارنده رشد ناشی از بخارات اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* و *اکالیپتوس کامالدولنسیس*[1] مقابل *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیا کلای* توسط Ghalem و Mohamed (2008) گزارش شده است.

Vilela و همکاران (2009) فعالیت ضدمیکروبی اسانس برگ *اکالیپتوس گلوبولوس* و نیز ترکیب اصلی 1 و 8 سینئول علیه قارچ‌های انباری *آسپرژیلوس فلاووس* و *آسپرژیلوس پارازیتیکوس* را از طریق تماس مستقیم و بخارات مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققان نشان داد مقدار اسانس اکالیپتوس برای بازدارندگی کامل علیه قارچهای انباری با روش بخارات اسانس در مقایسه با تماس مستقیم کمتر بود که با نتیجه این تحقق مطابقت نداشت. گرچه محققان ترکیبات اسانس را آنالیز کرده‌اند، اما ترکیبات فرار در اتمسفر پتری دیش را مورد مطالعه قرار نداده‌اند، بنابراین این ترکیبات می‌توانند فعالیت ضدقارچی بالایی داشته باشند (Zivanovic *et al.*, 2005).

خواص ضدمیکروبی اسانس اکالیپتوس در محیط مایع

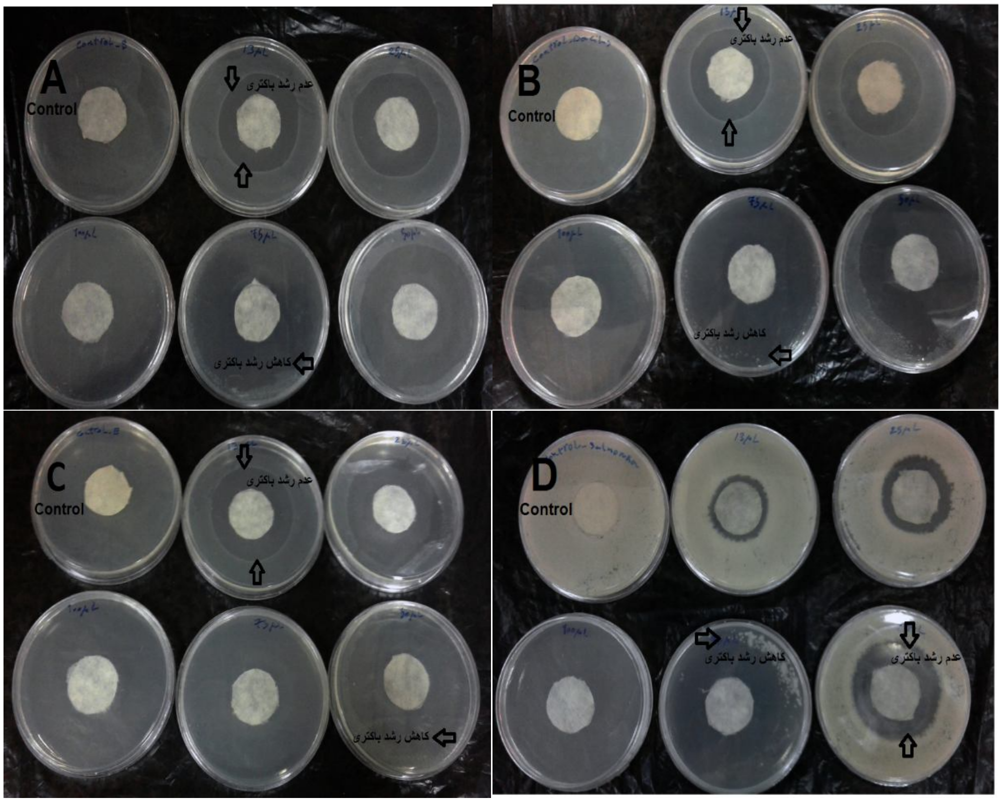
اثر اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* در غلظت‌های 10، 25 و 50 میکرولیتر در تماس مستقیم با محیط مایع (در دمای 37 درجه سانتی‌گراد) مورد ارزیابی و نتایج در جدول 4 نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود بیشترین کاهش لگاریتمی رشد علیه باکتری‌های مورد بررسی در غلظت 50 میکرولیتر بود. نتایج این تحقیق نشان داد *سالمونلا اینترتیدیس* در مقایسه با سایر باکتری‌ها از مقاومت بیشتری برخوردار بود و همچنین اثر افزودن مقادیر 10 و 25 میکرولیتر نشان داد که باکتری‌های گرم مثبت به ویژه *استافیلوکوکوس اورئوس* از حساسیت بیشتری برخوردار بودند. بنابراین مطابق با نتایج Sonboli و همکاران (2006) و Pitarokili و همکاران (2003) اسانس اکالیپتوس می‌تواند به‌طور موثری از رشد باکتری‌های بیماری‌زا جلوگیری نماید.

1.Eucalyptus camaldulensis

جدول 2- تاثیر مقادیر مختلف اسانس اکالیپتوس برحسب میکرولیتر بر مهار رشد باکتری (قطر هاله بازدارنده به‌صورت میلی‌متر گزارش شده است).

غلظت اسانس(µl) / باکتری	10	25	50	75	100
اشرشیا کلای	33 ± 0/95^{b}	^{c}25 40 ± 1/	^{c}2 45 ± 1/	+	+++
سالمونلا اینترتیدیس	^{b}30 ± 1	^{d}37 ± 0/9	^{d}42 ± 1/01	+	+++
باسیلوس سرئوس	^{a}91 42 ± 0/	^{b}11 45 ± 1/	^{b}06 60 ± 1/	+++	+++
استافیلوکوکوس اورئوس	^{a}44 ± 1/15	^{a}48 ± 0/5	^{a}65 ± 0/81	+++	+++

+ میکروارگانیسم به مقدار خیلی کمی رشد کرد. +++ هیچ میکروارگانیسمی رشد نکرد و بازدارندگی کامل رشد مشاهده گردید.



شکل 5- تاثیر مقادیر مختلف اسانس اکالیپتوس برمهار رشد باکتری (قطر هاله بازدارنده به‌صورت میلی‌متر گزارش شده است).

*A استافیلوکوکوس اورئوس- B باسیلوس سرئوس- C اشرشیا کلای- D سالمونلا اینترتیدیس.

جدول 3- تاثیر مقادیر مختلف بخار اسانس اکالیپتوس بر حسب میکرولیتر بر مهار رشد باکتری (قطر هاله به صورت میلی‌متر گزارش شده است).

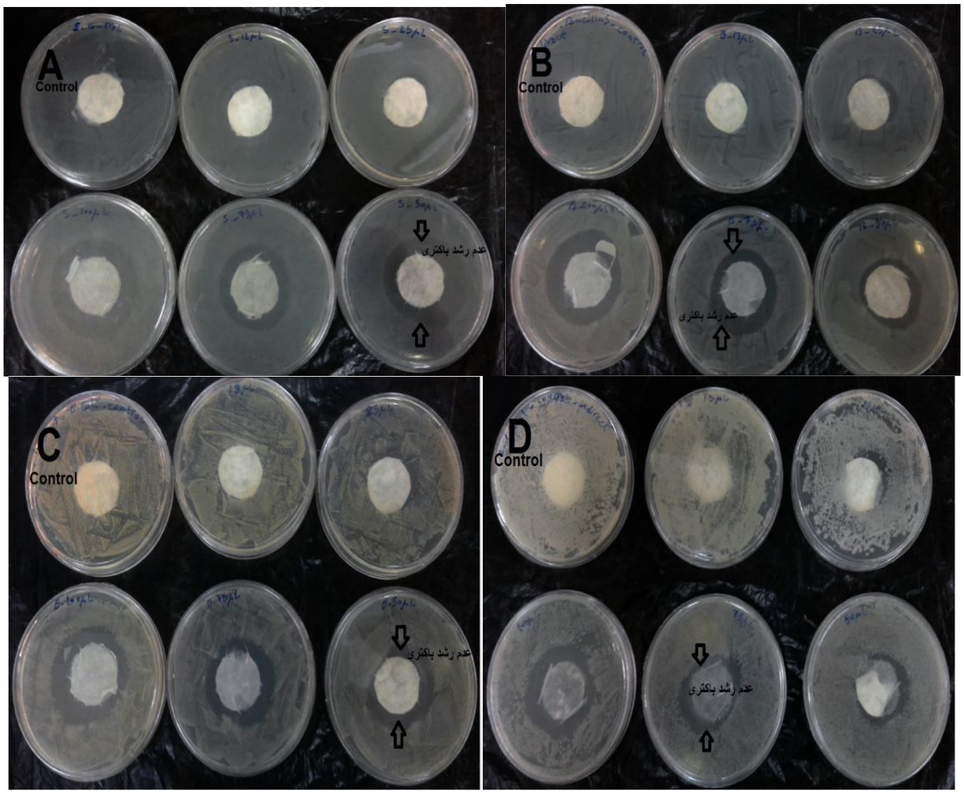
غلظت اسانس (µl) / باکتری	10	25	50	75	100
اشرشیا کلای	^{c}6 20 ± 0/	^{b}4 26 ± 0/	^{c} 32 ± 1	^{c}01 35 ± 1/	^{c}94 40 ± 0/
سالمونلا اینترتیدیس	^{d}15 ± 0/45	^{b}25 ± 0/91	^{d}30 ± 0/5	^{d}33 ± 0/8	^{d}38 ± 0/3
باسیلوس سرئوس	^{b}9 22 ± 0/	^{a}04 28 ± 1/	^{b}9 35 ±0/	^{b}56 38 ± 0/	^{b}43 ± 1
استافیلوکوکوس اورئوس	^{a}24 ± 1	^{a}28 ± 0/88	^{a}38 ± 0/33	^{a}40 ± 0/97	^{a}45 ± 0/79

جدول 4- اثرات ضدمیکروبی اسانس اکالیپتوس گلوبولوس در مقادیر 10، 25 و 50 میکرولیتر بر اشرشیا کلای، سالمونلا اینترتیدیس، باسیلوس سرئوس و استافیلوکوکوس اورئوس با لگاریتم تعداد واحد کلنی ((Log(CFU) و اندیس کاهش لگاریتمی (LRV)

باکتری / غلظت اسانس(µl)	*اشرشیا کلای*		*سالمونلا اینترتیدیس*		*باسیلوس سرئوس*		*استافیلوکوکوس اورئوس*	
	Log(CFU) /ml	LRV	Log(CFU) /ml	LRV	Log(CFU) /ml	LRV	Log(CFU) /ml	LRV
شاهد میکروبی	8/70±0/04		8/11±0/02		8/95±0/04		9/03±0/05	
10	7/40±0/01	^{a}1/30	7/31±0/01	^{a}0/8	7/32±0/02	^{a}1/63	7/38±0/02	^{a}1/65
25	6/33±0/02	^{b}2/37	6/98±0/03	^{b}1/13	5/63±0/09	^{b}3/32	5/56±0/04	^{b}3/47
50	+++		5/05±0/02	^{c}3/06	+++		+++	

+++ هیچ میکروارگانیسمی رشد نکرد و بازدارندگی کامل رشد مشاهده گردید.

*اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها ($p< 0.05$) به صورت حروف کوچک در هر ستون نشان داده شده ست. حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 95 درصد می‌باشد($p< 0.05$)



شکل 6- تاثیر مقادیر مختلف بخار اسانس اکالیپتوس بر مهار رشد باکتری (قطر هاله به‌صورت میلی‌متر گزارش شده است).

*A استافیلوکوکوس اورئوس- B باسیلوس سرئوس- C اشرشیا کلای- D سالمونلا اینترتیدیس

خواص ضدمیکروبی بخار اسانس اکالیپتوس در ترکیب با فیلم کیتوزان

ترکیبات ضدمیکروبی فرار از طریق مهاجرت در فضای موجود در بسته‌بندی و ترکیبات ضدمیکروبی غیر فرار به‌صورت مواد حل‌شونده در تماس بین ماده بسته‌بندی و غذا می‌تواند اثرات ضدمیکروبی نشان دهند (Shan *et al.*, 2007). همان‌طوری که در جدول 5 مشاهده می‌شود، بخار اسانس در فیلم زیست کامپوزیتی کیتوزان در سطح 0/5 درصد تاثیر مثبتی نداشت و در سطح 1 و 1/5 درصد خاصیت بازدارندگی کمی نشان داد و سبب کاهش دانسیته میکروبی در سطح پلیت گردید. همچنین فیلم زیست کامپوزیت کیتوزان بدون اسانس فاقد هرگونه فعالیت ضدباکتریایی بود. نتایج بدست آمده از این تحقیق با گزارش کشیری و همکاران (1393) مبنی بر عدم افزایش فعالیت ضدمیکروبی فاز بخار فیلم زیست‌فعال زئین حاوی اسانس آویشن شیرازی مطابقت داشت.

جدول 5- تاثیر غلظت اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* در فیلم زیست کامپوزیت کیتوزان بر مهار رشد باکتریایی در فاز بخار

نوع میکروارگانیسم	فیلم حاوی 0/5 درصد اسانس	فیلم حاوی 1 و 1/5 درصد اسانس
اشرشیا کلای	---	+++
سالمونلا اینترتیدیس	---	+++
باسیلوس سرئوس	---	+++
استافیلوکوکوس اورئوس	---	+++

--- قطر هاله بازدارندگی رشد مشاهده نشد. +++ دارای محدوده بازدارندگی و کاهش قابل ملاحظه دانسیته میکروبی در سطح پلیت

خواص ضدمیکروبی فیلم زیست‌فعال کیتوزان در محیط مایع

با توجه به‌اینکه بخار اسانس اکالیپتوس در ترکیب با فیلم کیتوزان خاصیت ضدمیکروبی مناسبی نشان نداد در این تحقیق اثر ضدمیکروبی فیلم زیست‌فعال کیتوزان در تماس مستقیم با محیط مایع در دمای 37 درجه سانتی‌گراد ارزیابی شد. همان‌طوری که در جدول 6 مشاهده می‌شود، اندیس کاهش لگاریتمی فیلم زیست فعال کیتوزان حاوی 0/5 درصد اسانس در برابر *اشرشیا کلای، سالمونلا اینترتیدیس، باسیلوس سرئوس و استافیلوکوکوس اورئوس* به‌ترتیب برابر 2/56، 2/34، 2/54 و 2/59 لگاریتم بود و با افزایش غلظت اسانس در برابر باکتری‌های مورد آزمایش افزایش یافت.

همسو با نتایج این تحقیق با سایر محققان، کیتوزان خالص *لیستریا مونوسیتوژنز* را 2 لگاریتم کاهش داد در حالی که فیلم کیتوزان حاوی 1 و 2 درصد اسانس پونه کوهی تعداد لگاریتم کاهشی *لیستریا مونوسیتوژنز* و *اشرشیا کلای* را به‌ترتیب 4 لگاریتم و 3 لگاریتم کاهش داد (Zivanovic *et al*., 2005) و در تطابق با تحقیق انجام شده، با افزایش غلظت اسانس خاصیت ضدمیکروبی افزایش می‌یابد. همچنین همسو با نتایج این تحقیق با سایر محققان می‌توان به افزایش اندیس کاهش لگاریتمی در فیلم اتیلن وینیل الکل حاوی 10 درصد اسانس پونه کوهی (Muriel-Galet *et al*., 2012)، فیلم زیست‌فعال زئین حاوی 10 درصد اسانس آویشن شیرازی (کشیری و همکارن، 1393) و فیلم‌های نشاسته حاوی تانیک اسید (Pyla *et al*., 2010) در برابر *لیستریا مونوسیتوژنز و اشرشیا کلای* اشاره کرد.

جدول 6- اثرات ضدمیکروبی فیلم زیست فعال کیتوزان حاوی 0/5، 1 و 1/5 درصد اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* بر *اشرشیا کلای، سالمونلا اینترتیدیس، باسیلوس سرئوس و استافیلوکوکوس اورئوس* با لگاریتم تعداد واحد کلنی ((Log(CFU)) و اندیس کاهش لگاریتمی (LRV)

باکتری / فیلم	*اشرشیا کلای*		*سالمونلا اینترتیدیس*		*باسیلوس سرئوس*		*استافیلوکوکوس اورئوس*	
	Log(CFU) /ml	LRV	Log(CFU) /ml	LRV	Log(CFU) /ml	LRV	Log(CFU) /ml	LRV
شاهد میکروبی	8/94 ± 0/06		± 0/09 8/80		0/03±8/94		0/03±8/92	
کیتوزان	7/13 ± 0/03	[d]1/81	± 0/04 7/06	[d]1/73	± 0/04 7/09	[d]1/85	± 0/53 6/63	[d]2/28
کیتوزان و ٪ 0/5 اسانس	6/38 ± 0/02	[c]2/56	± 0/01 6/46	[c]2/34	± 0/01 6/40	[c]2/54	± 0/02 6/32	59[c]2/
کیتوزان و ٪1 اسانس	6/06 ± 0/03	[b]2/88	± 0/05 6/05	[b]2/74	± 0/03 6/01	[b]2/93	± 0/04 5/91	[b]3
کیتوزان و ٪1/5 اسانس	4/72 ± 0/1	[a]4/22	± 0/14 4/82	[a]3/98	4/39 ± 0/1	[a]4/55	4/21 ± 0/1	[a]4/71

*اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها ($p< 0.05$) به‌صورت حروف کوچک در هر ستون نشان داده شده ست. حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 95 درصد می‌باشد ($p< 0.05$) .

نتیجه‌گیری

فعالیت ضدمیکروبی اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* در برابر *اشرشیا کلای، سالمونلا اینترتیدیس، باسیلوس سرئوس و استافیلوکوکوس اورئوس* براساس قطر هاله، رهایش ترکیبات موثر در محیط مایع و تبخیر اسانس در محیط جامد مطلوب بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* قابلیت ضدمیکروبی خوبی علیه دامنه وسیعی از باکتری‌های عامل فساد مواد غذایی دارد و باکتری‌های گرم مثبت در مقایسه با باکتری‌های گرم منفی در برابر

اسانس از حساسیت بیش‌تری برخوردار بودند. فیلم زیست‌فعال کیتوزان از خواص ضدمیکروبی خوبی در محیط مایع برخوردار بود. با توجه به نتایج حاصل از خواص ضدمیکروبی فیلم بر پایه بخار اسانس در محیط جامد، فیلم زیست‌فعال کیتوزان حاوی 1/5 درصد اسانس *اکالیپتوس گلوبولوس* در تماس مستقیم با پلیمر می‌تواند علیه باکتری‌های بیماری‌زا به‌طور موفق عمل نماید.

افزودن مستقیم مواد ضدمیکروبی به درون ماده غذایی ممکن است روی خواص حسی آن تاثیر نامطلوبی دشته باشد، بنابراین افزودن ماده ضدمیکروبی به درون مواد بسته‌بندی می‌تواند چنین اثراتی را کاهش دهد. ماده بسته‌بندی آزاد سازی این ترکیبات را روی سطح ماده غذایی کنترل می‌کند و سبب می‌شود که غلظت این ترکیبات همواره بالاتر از حد بحرانی مورد نیاز برای جلوگیری از رشد باکتری‌های مضر باشد. این تحقیق پتانسیل بالای فیلم‌های کیتوزان حاوی اسانس‌های خوراکی را در جلوگیری از رشد باکتری‌های بیماری‌زا به اثبات رساند و نشان داد اسانس اکالیپتوس در ترکیب با فیلم کیتوزان، جایگزین مناسبی برای پاسخ به نگرانی‌های مصرف کنندگان و افزایش ارتقاء کیفیت مواد غذایی می‌باشد و می‌توان از چنین بسته‌بندی‌هایی برای افزایش طول عمر مواد غذایی سود برد.

سپاسگزاری

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و اساتید راهنما و مشاور جهت حمایت‌های خالصانه آن‌ها در اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

کشیری، م.، مقصودلو، ی.، خمیری، م. و بهروز، ر.، 1393، ارزیابی خواص ضدباکتریایی فیلم زیست فعال زئین حاوی اسانس آویشن شیرازی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره 50، ص 195-206.

Adams, R. P., 2001, Identification of essential oils components by gas chromatography/quadrupole. Mass spectroscopy. Allured, *Carol Stream*, Illnois. New York: Spinger

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. & Idaomar, M., 2008, Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 446–475.

Botsoglou, N. A., Christaki, E., Fletouris, D. J., Florou-Paneri, P. & Spais, A. B., 2002, The effect of dietary oregano essential oil on lipid oxidation in raw and cooked chicken during refrigerated storage. *Meat Science*, 62(2), 259-265.

Brooker, M. & Kleinig, D. A., 2004, Field Guide to Eucalyptus. 2nd Edn., Vol. 8. Melbourne : Bloomings Books.

Cimanga, K., Kambu, K., Tona, L., Apers, S., De Bruyne, T., Hermans, N., & Vlietinck, A. J., 2002, Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo. *Journal of ethnopharmacology*, 79(2), 213-220.

Coppen, J. J. W., 2002, Eucalyptus: The Genus Eucalyptus (Mediacinal and Aromatic Plants–Industrial Profiles). London and NewYork: *Taylor and Francis*, 440.

Draughon, F. A., 2004, Use of botanicals as biopreservatives in foods. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 58(2), 20-28.

Duke, J. A. & Beckstrom-Sternberg, S., 1994, Potential for synergistic action of phytochemicals in spices. In: Amsterdam: *Elsevier Science*.

Ghalem, B. R. & Mohamed, B., 2008, Antibacterial activity of leaf essential oils of Eucalyptus globulus and Eucalyptus camaldulensis. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2, 211–215.

Ghanem, A. & Skonberg, D., 2002, Effect of preparation method on the capture and release of biologically active molecules in chitosan gel beads. *Journal of applied polymer science*, 84(2), 405-413.

Gilles, M., Zhao, J., An, M. & Agboola, S., 2010, Chemical composition and antimicrobial properties of essential oils of three Australian Eucalyptus species. *Food Chemistry*, 119, 731–737.

Guarda, A., Rubilar, J. F., Miltz, J. & Galotto, M. J., 2011, The antimicrobial activity of microencapsulated thymol and carvacrol. *International journal of food microbiology*, 146(2), 144-150.

Inouye, S., Takizawa, T. & Yamaguchi, H., 2001, Antibacterial activity of essential oils and their major constituents against respiratory tract pathogens by gaseous contact. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 47, 565–573.

Jones, R. N., 2001, Resistance patterns among nosocomial pathogens: trends over the past few years. *Chest Journal*, 119(2_suppl), 397S-404S.

Kim, S., 2008, Processing and properties of gluten/zein composite. Bioresource technology, 99(6), 2032-2036.

Kurita, K., 2006, Chitin and chitosan: functional biopolymers from marine crustaceans. *Marine Biotechnology*, 8(3), 203-226.

Lis-Balchin, M., Hart, S. L. & Deans, S. G., 2000, Pharmacological and antimicrobial studies on different tea-tree oils (Melaleuca alternifolia, Leptospermum scoparium or Manuka and Kunzea ericoides or Kanuka), originating in Australia and New Zealand. *Phytotherapy research*, 14(8), 623-629.

Muriel-Galet, V., Cerisuelo, J. P., LopezCarballo, G., Lara, M., Gavara, R. & Hernandez-Munoz, P., 2012,

Development of antimicrobial films for microbiological control of packaged salad. *International Journal of Food Microbiology*. 157: 195–201.

Muriel-Galet, V., Cerisuelo, J. P., López-Carballo, G., Lara, M., Gavara, R. & Hernández-Muñoz, P., 2012, Development of antimicrobial films for microbiological control of packaged salad. *International journal of food microbiology*, 157(2), 195-201.

Ojagh, S. M, Rezaei, M., Razavi, S. H. & Hosseini, S. M. H., 2010, Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*, 122,161-166.

Ouattara, B., Simard, R. E., Holley, R. A., Piette, G. J. P. & Bégin, A., 1997, Antibacterial activity of selected fatty acids and essential oils against six meat spoilage organisms. *International journal of food microbiology*, 37(2), 155-162.

Oussalah, M., Caillet, S. & Lacroix, M., 2006, Mechanism of action of Spanish oregano, Chinese cinnamon, and savory essential oils against cell membranes and walls of Escherichia coli O157:H7 and Listeria monocytogenes. *Journal* of *food protection*, 69,1046–1055.

Pitarokili, D., Tzakou, O., Loukis, A. & Harvala, C., (2003). Volatile metabolites from Salvia fruticosa as antifungal agents in soilborne pathogens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3294–3301.

Pyla, R., Kim, T. J., Silva, J. L. & Jung, Y. S., 2010, Enhanced antimicrobial activity of starch-based film impregnated with thermally processed tannic acid, a strong antioxidant. *International journal of food microbiology*, 137(2), 154-160.

Quintavalla, S. & Vicini, L., 2002, Antimicrobial food packaging in meat industry. Meat science, 62(3), 373-380.

Saidana, D., Mahjoub, M. A., Boussaada, O., Chriaa, J., Cheraif, I., Daami, M & Helal, A. N., 2008, Chemical composition and antimicrobial activity of volatile compounds of Tamarix boveana (*Tamaricaceae*). *Microbiological research*, 163(4), 445-455.

Salarbashi, D., Tajik, S., Shojaee-Aliabadi, S., Ghasemlou, M., Moayyed, H., Khaksar, R. & Noghabi, M. S., 2014, Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated Zataria multiflora Boiss and Mentha pulegium essential oils. *Food chemistry*, 146, 614-622.

Sartorelli, P., Marquioreto, A. D., Amaral-Baroli, A., Lima, M. E. & Moreno, P. R., 2007, Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from two species of Eucalyptus. Phytotherapy Research, 21, 231–233.

Shan, B., Cai, Y., Brooks, J. D. & Corke, H., 2007, Antibacterial properties and major bioactive components of cinnamon stick (Cinnamomum burmannii): activity against foodborne pathogenic bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55 (14): 5484–5490.

Shen, L., Worrell, E. & Patel, M., 2010, Present and future development in plastics from biomass. Biofuels, *Bioproducts and Biorefining*, 4(1), 25-40.

Shieh, J. C., 1996, Yields and chemical components of essential oils in Eucalyptus camaldulensis leaves. Taiwan *Journal of Forest and Science*, 11, 149–157.

Silva, J., Abebe, W., Sousa, S. M., Duarte, V. G., Machado, M. I. L. & Matos, F. J. A., 2003, Analgesic and anti-inflammatory effects of essential oils of Eucalyptus. *Journal of ethnopharmacology*, 89(2), 277-283.

Soliman, K. M. & Badeaa, R. I., 2002, Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. *Food and chemical toxicology*, 40(11), 1669-1675.

Sonboli, A., Babakhani, B. & Mehrabian, A. R., 2006, Antimicrobial activity of six constituents of essential oil from Salvia. Zeitschrift für Naturforschung C, 61, 160–164.

Su, Y. C., Ho, C. L., Wang, E. I. & Chang, S. T., 2006, Antifungal activities and chemical compositions of essential oils from leaves of four eucalyptus. Taiwan Journal of Forest and Science, 21, 49–61.

Suresh, P., Ingle, V. K. & Vijayalakshmi, V., 1992, Antibacterial activity of eugenol in comparison with other antibiotics. *Journal of food science and technology*, 29(4), 254-256.

Synowiecki, J. & Al-Khateeb, N. A., 2003, Production, properties, and some new applications of chitin and its derivatives. *National Center of Biotechnology Information*, 43(2):71-145

Takahashi, T., Kokubo, R. & Sakaino, M., 2004, Antimicrobial activities of Eucalyptus leaf extracts and flavonoids from Eucalyptus maculate. *Letters in Applied Microbiology*, 39, 60–64.

Tsiri, D., Kretsi, O., Chinou, I. B. & Spyropoulos, C. G., 2003, Composition of fruit volatiles and annual changes in the volatiles of leaves of Eucalyptus camaldulensis Dehn growing in Greece. *Flavour and Fragrance Journal*, 18, 244–247.

Tyagi, A. & Malik, A., 2010, In situ SEM, TEM and AFM studies of the antimicrobial activity of lemon grass oil in liquid and vapour phase against Candida albicans. *Micron*, 41, 797–805.

Tyagi, A. K. & Malik, A., 2011, Antimicrobial potential and chemical composition of Eucalyptusglobulus oil in liquid and vapour phase against food spoilage microorganisms. *Food Chemistry*, 126(1), 228-235.

Vilela, G. R., de Almeida, G. S., D'Arce, M. A. B. R., Moraes, M. H. D., Brito, J. O., da Silva, M. F. D. G., & da Gloria, E. M., 2009, Activity of essential oil and its major compound, 1, 8-cineole, from Eucalyptus globulus Labill., against the storage fungi Aspergillus flavus Link and Aspergillus parasiticus Speare. *Journal of Stored*

Products Research, 45(2), 108-111.
Yanishlieva, N. V., Marinova, E. M., Gordon, M. H. & Raneva, V. G., 1999, Antioxidant activity and mechanism of action of thymol and carvacrol in two lipid systems. *Food Chemistry*, 64(1), 59-66.
Zheng, L. Y. & Zhu, J. F., 2003, Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights. Carbohydrate Polymers, 54(4), 527-530.
Zivanovic, S., Chi, S. & Draughon, A. F., 2005, Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *Journal of food science*, 70(1), M45-M51.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 784-797

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 797-784

Evaluation of antibacterial activity of chitosan bioactive film containing *Eucalyptus globulus* essentoil oil

E. Azadbakht[1], Y. Maghsoudlou[2]*, M. khomeiri[3], M. Kashiri[4]

Received: 2016.07.04
Accepted: 2016.10.29

Introduction: The edible films and coatings had remarkable growth in recent years to increase the shelf life and to enhance food quality, stability, and safety and expected to have an important impact on the food market in the following years. In addition, these matrices can be used as carriers of antimicrobials to minimize the risk of foodborne contamination by pathogens and inhibit the development of spoiler microbes. Antimicrobial packaging is a type of active packaging that provides the continuous migration of antimicrobial components to the surface of the foods. Chitosan is a linear copolymer of β-1, 4-linked D-glucosamine and N-acetyl-d-glucosamine. It is a cationic polysaccharide for food packaging applications, due to its unique characteristics of films, including excellent oxygen barrier properties, good mechanical properties, nontoxicity and good antimicrobial activity. *Eucalyptus* is a plant native from Australia and the *Myrtasya* family that includes about 900 species and sub-species. There is abundant scientific evidence regarding the efficacy of different species *Myrtasya* as the antibacterial and antifungal compounds used in health products, and food industry. Using natural antimicrobials are interesting strategies for reducing the use of chemical additives in the food industry. Essential oils (EOs) are defined as a mixture of volatile water insoluble substances to be incorporated into the edible films due to exhibit antimicrobial effects. Moreover, evaluation EOs on the physical, optical and structural properties of the resulting film is also important. Therefore, the aims of this work were to determine the effect Eucalyptus globulus essential oil on antibacterial properties (2) to determine the antimicrobial activity of chitosan based films containing Eucalyptus globulus essential oil against S. aureus, B. cereus, E. coli and S. intertidis.

Materials and methods: The foodborne microbial strains were prepared from Persian Type Culture Collection. The essential oil was analyzed by gas chromatography (GC) (Thermoquest 2000, UK). In this study, the antimicrobial activity of *Eucalyptus globulus* essential oils (EGO_s) was evaluated against two gram positive (*S. aureus* and *B. cereus*) and two gram negative (*E. coli* and *S. intertidis*) bacteria by the agar diffusion technique and microdilution test. The effect of EGO was evaluated in liquid media and vaporous phase too. Chitosan solution were prepared by dissolving 1.5 % (W/V) of chitosan in aqueous solution containing 0.7% (V/V) of acetic acid under a magnetic stirrer at 40°C until chitosan was completely dissolved. Glycerol as plasticizer (10% weight of chitosan powder) was added to the solution and stirred for 10 minutes. The EGO with concentrations of 0.5, 1 and 1.5% v/v was added to the solution and was stirred for 5 minutes. The film forming solutions using a homogenizer (Heidolph, Germany) were homogenized with 12000 rpm for 4 min, then degassed for 5 min and 25 ml were cast on a 10 cm diameter petri dish. After drying the film in the oven at 38°C for 24 h, they were peeled from the plate surface and were evaluated. The antimicrobial activity of the films was evaluated in contact with liquid and vaporous media.

Results and discussion: Minimum inhibition concentration for gram negative (*E. coli*, *S. enteritidis*) and gram positive (*B. cerus* and *S. aureus*) bacteria showed 3.125 and 1.562 µg/l respectively. The inhibition zone for gram positive bacteria was bigger than gram negatives. The effect of EGO on bacteria based on Log reduction value (LRV) of S. aerus > *B. cerus* > *E. coli*> *S. enteritidis*. Thses results confirmed that gram positive bacteria were more sensitive to inhibition by plant essential oils than the gram-negative bacteria. Our results showed that chitosan film containing 1 and 1.5 % essential oil was able to reduce the density of bacteria. The Log reduction value of chitosan bioactive film was increased by increasing the concentration of *E. globulus* essential oil than 0.5 to 1.5 % in liquid media. The results of this work had demonstrated that chitosan bioactive

1, 2, 3 and 4. . M. Sc, Professor, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
(*Corresponding author: yahyamaghsoudlou@gmail.com)

film containing 1.5% EGO can be used an effective antimicrobial film for food packaging in direct contact.

Conclusion: Chitosan is a good biopolymer for active food packaging. The result of this study showed that chitosan films containing EGO could be used as active films due to enhanced the antimicrobial properties which are important in food packaging applications. Films containing essential oil had unique properties that are useful for coating of perishable foods such as fish and poultry.

Key words: Antimicrobial packaging, *Eucalyptus globolus* essential oil (EGO), Chitosan

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 798-807

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 807-798

بررسی تاثیر فرآیندهای مختلف رساندن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی برنج رقم طارم

عاصفه لطیفی[1]- محسن اسمعیلی[2*]

تاریخ دریافت: 1395/02/05
تاریخ پذیرش: 1395/08/08

چکیده

تغییرات اساسی برنج در انبارمانی (رسیدن در انبار) شامل سخت‌تر شدن بافت، چسبندگی کمتر دانه هنگام پخت و کاهش مواد جامد از دست‌رفته می‌باشد. حداقل زمان لازم برای رسیدن به این تغییرات مطلوب 3 تا 6 ماه است. به‌منظور تسریع زمان انبارمانی، شلتوک رقم طارم در دو سطح رطوبتی 24 و 17 درصد با دو روش بخاردهی در $100^{\circ}C$ به مدت 5، 10 و 20 دقیقه و کنترل شرایط محیطی در دمای $43^{\circ}C$ و رطوبت نسبی 74 درصد به مدت 11 روز نگهداری، تیمار گردید. سپس، خصوصیات کیفی برنج سفید حاصل با نمونه شاهد مقایسه شد. با اعمال تیمار کنترل شرایط محیطی، مواد جامد از دست‌رفته کاهش و نسبت طویل شدن دانه افزایش و با اعمال تیمار بخاردهی، مواد جامد ازدست‌رفته و چسبندگی کاهش و دمای ژلاتینه شدن افزایش یافت. در هر دو تیمار تغییراتی مطابق با انبارمانی ایجاد شد. تیمار محیطی قابل توصیه برای رساندن بود اما تیمار بخاردهی با وجود تغییرات مثبت در کیفیت پخت برنج، به سبب از بین رفتن کامل عطر و بو که در رقم محلی طارم مهم است قابل توصیه برای رساندن نبود.

واژه‌های کلیدی: انبارمانی برنج، آنالیز حرارتی، بافت، پخت، ویسکوزیته

مقدمه

بیش از نیمی از مردم دنیا برنج مصرف می‌کنند. مصرف‌کنندگان برنج، بخصوص در آسیا می‌دانند که خصوصیات پخت برنج طی انبارمانی تغییر می‌یابد که به آن انبارمانی یا رسیدن[3] می‌گویند. رسیدن شامل سخت‌تر شدن بافت، چسبندگی کمتر دانه هنگام پخت، افزایش طول، افزایش جذب آب، کاهش مواد از دست‌رفته و تغییر خواص خمیری (ویسکوزیته) می‌باشد که مورد پسند اکثر مصرف‌کنندگان برنج است. معدودی از مصرف‌کنندگان مانند ژاپنی‌ها برنج تازه با خاصیت چسبندگی بالا را می‌پسندند (Zhou, 2002). طی انبارمانی، چربی به اسید چرب آزاد هیدرولیز می‌شود (به‌طور عمده با لیپاز) و خود چربی و اسید چرب آزاد تحت اکسیداسیون به ترکیبات کربونیلی تبدیل می‌شود. این ترکیبات صرف نظر از ایجاد عطر، با نشاسته و پروتئین واکنش می‌دهند (Juliano, 1985; Sodhi, *et al.*, 2003; Teo *et al.*, 2000). فرایند انبارمانی متداول 3 تا 6 ماه طول می‌کشد (Soponronnarit *et al.*, 2008; Jaisut *et al.*, 2009). این عمل نیازمند فضایی برای انبار برنج و افزایش هزینه نگهداری آن است و ممکن است در این مدت محصول مورد هجوم حشرات و جوندگان قرار گیرد. از این‌رو روش‌هایی وجود دارد تا هم روند کار تسریع شود و هم هزینه ها کاهش یابد و شرایط برنج هم مشابه برنج انبار مانده باشد که به انبارمانی تسریع‌یافته[4] معروف هستند.

مهمترین روش‌های انبارمانی تسریع‌یافته دو روش خشک و مرطوب می‌باشند (Rosniyana *et al.*, 2004; Rayaguru *et al.*, 2011). در روش مرطوب از بخاردهی به شلتوک با رطوبت اولیه بالا بهره می‌برند. دمای بخار آب می‌تواند $100^{\circ}C$ یا بالاتر باشد. هرچه رطوبت اولیه شلتوک بالاتر و مدت زمان بخاردهی بیشتر باشد، شدت تغییرات ایجادشده و تغییر رنگ برنج بیشتر خواهد بود. نام دیگر این روش تیمار با بخار[5] است که در هند سال‌ها مورد استقبال قرارگرفته و استفاده می‌شود اما ممکن است با این روش نقاط گچی در سطح برنج ایجاد شود و درصد شکستگی برنج افزایش یابد. همچنین فرایند بخاردهی موجب کاهش عطر و بو در ارقام معطر می‌شود. از این رو، این روش ممکن است برای ارقام با کیفیت خوب و معطر مناسب نباشد. روش جایگزین آن، حرارت‌دهی خشک شلتوک در یک محیط بسته است. در این روش شلتوک یا برنج سفید به مدت 1

1- دانشجوی دکتری صنایع غذایی، محقق موسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
2- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه.
(* - نویسنده مسئول Email: esmaiilim@yahoo.ie)

DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55410

3 Aging
4 Accelerated aging
5 Steam curing

تا 3 ساعت در دمای بالا (حدود 100 °C) قرار می گیرد و بعد خنک مـی شـود (Bhattacharya, 2013). در شـرایط صـنعتی طراحـی دستگاه‌های مخصوصی نیاز است که هم در مرحلـه حـرارت دادن و هم در مرحله خنک‌کردن با تزریق رطوبت و تنظیم رطوبـت نسـبی محیط، مانع از هرگونه کاهش رطوبت در نمونه شـود تـا در تبـدیل شلتوک به برنج سفید درصد شکستگی افزایش نیابد.

برای انبارمانی تسریع‌یافته از خشک‌کن‌های بستر متحرک نیـز استفاده می‌شود. از این خشک‌کن‌ها برای خشک‌کـردن شـلتوک تـا رسیدن به رطوبت 18% در دمای بالا بهره مـی‌برنـد. ادامـه مراحـل خشک‌کردن در دمای محیط یا با خشک‌کن معمولی انجام می‌گیرد. در این شیوه نیز اغلب درصد شکستگی برنج بالا می‌رود (Wiset *et al.*, 2005; Soponronnarit *et al.*, 2008).

شرایط بهینه محیطی برای انبارمانی تسریع‌یافته رقم باسـماتی که رقم صادراتی، معطر و با کیفیت می‌باشد در دامنه دمـایی 30 تـا 50°C، رطوبت نسبی 50 تا 90% و زمان 3 تا 14 روز با روش آماری سطح پاسخ بررسی شده و شـرایط بهینـه نگهـداری دمـای 43°C، رطوبت نسبی 71% و زمان رسیدن 11 روز گزارش شده است. در این حالت راندمان برنج سفید سالم، میزان مـواد جامـد از دسـت‌رفتـه و افزایش طول نمونه مانند نمونه انبارمانده به مدت 6 ماه بوده اسـت (Rayaguru *et al.*, 2011).

فرایند پیش‌جوش کردن (پاربویل) هم سال‌هاست که بـه‌عنـوان یک روش برای بهبود خواص تبدیل و پخت برنج بکار مـی‌رود کـه شامل مراحل طولانی خیساندن، بخـاردهی و خشـک‌کـردن اسـت. نتیجه این فرایند ژلاتیناسیون کامل نشاسته و تغییررنگ برنج مـی‌باشد. در انبارمانی تسریع‌یافته ژلاتینه‌شدن نشاسته به‌طور جزئی رخ می‌دهد و این فرایند بـه دلیـل حـذف مرحلـه طـولانی خیسـاندن، اقتصادی‌تر از پیش‌جوش‌کردن است (Gujral, & Kumar, 2003).

با توجه به اهمیت تسریع روند رسیدن برنج، هدف این پژوهش، بررسی ارائه روشی برای بهبود خواص کیفی و فیزیکوشیمیایی برنج ایرانی طارم در کوتاه‌مدت بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق شلتوک رقم طارم (از ارقام بـومی، بـا کیفیـت و سطح زیر کشت بالا در استان مازندران) انتخاب شد.

روش اجرای تیمارهای انبارمانی تسریع‌یافته

برای انبارمانی تسریع‌یافته برنج طارم از دو روش زیر که هـردو قابلیت اجرای صنعتی در کشور را دارند، استفاده شد:

الف) روش مرطوب یا بخاردهی

شلتوک برداشت شده از مزرعه به دو قسمت تقسیم شـد. نیمـه اول با رطوبت حین برداشت که 24% بود و نیمه دوم همان شـلتوک به مدت یک روز در محیط آزمایشگاه نگهداری شد تا رطوبت اولیـه آن به 17% کاهش یافت. سپس هر دو شـلتوک رطوبـت بـالا (24 درصد) و رطوبت پایین (17 درصد) تحت تیمار بخاردهی 100°C بـه مدت 5، 10 و 20 دقیقه قرار گرفتند و بـا خشـک‌کـن بسـتر ثابـت آزمایشگاهی برقی (مجهز به سیستم تنظیم دما و سرعت باد، ساخت موسسه برنج، ایران، آمل) با درجه حرارت 40°C تا رطوبت مطلـوب 11% برای تبدیل به مدت 6 سـاعت خشـک شـدند. شـلتوک‌هـای خشک‌شده با دستگاه پوست‌کن غلطک لاستیکی و سفیدکن سایشی (Satake, japan) بـه بـرنج سـفید تبـدیل شـدند (Wiset *et al.*, 2005).

ب) روش کنترل شرایط محیطی

شلتوک رقم طارم پس از برداشت از مزرعه با خشک کن بسـتر ثابت آزمایشگاهی در دمای 40°C تا رطوبت 12% خشک شـد و در دمای 43°C، رطوبت نسبی 74% بـه مـدت 11 روز نگهـداری شـد. کنترل دمای محیط با آون و کنترل رطوبت‌نسبی محیط با محلـول اشباع نمک کلرید سدیم در محیط بسته دسیکاتور صـورت گرفـت. محلول اشباع نمـک در دمـای 43°C، رطوبـت نسـبی 74% ایجـاد می‌کند (Young, 1967). نمونـه شـلتوک پـس از قـرار گـرفتن در محیط مذکور به مدت 11 روز با روش ذکر شده در بالا به برنج سفید تبدیل شد.

تیمار شاهد

مقداری از شلتوک اولیه با رطوبت 24% برای تهیه تیمار شـاهد با خشک‌کن در دمای 40°C تا رطوبت 11% خشک و بعد تبدیل به برنج سفید شد تا خصوصیات برنج رسانده با دو روش مذکور بـا آن مورد مقایسه قرار گیرد. برنج سفید حاصل از هر سه حالت بالا غربال و برنج شکسته آن جدا شـد و نهایتـا بـرنج سـفید سـالم حاصـل از تیمارهای مختلف تحت آزمون‌های زیر قرار گرفت. مقـدار شـلتوک برای هر تکرار تیمار با توجه به ظرفیت دستگاه سفیدکن 300 گـرم بود.

پارامترهای ارزیابی

راندمان برنج سفید سالم[1]: نسبت وزن برنج سفید سالم (طـول بیش از 3/4 طول برنج کامل) به وزن شلتوک بود (Soponronnarit *et al.*, 2008).

سختی برنج خام: 10 دانه برنج سفید انتخاب و در زیر دسـتگاه سختی‌سنج (Lutron FG 5020, Taiwan) قرار داده شـد. نیـروی حداکثر در زمان شکست بر روی صفحه نمایشگر به‌عنـوان سـختی

---
1 Head rice yield

برحسب کیلوگرم نیرو ثبت گردید (Lu and Siebenmorgen, 1995).

رنگ برنج: شاخص زردی رنگ (b value) با دستگاه رنگ‌سنج (Chroma meter CR-400) سنجیده شد.

عطر و بوی برنج: نمونه‌ها توسط 10 داور ماهر از موسسه برنج (ایران، آمل) مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت ارزیابی حسی از روش امتیازدهی هدونیک 5 نقطه‌ای استفاده شد (Sirisoontarak & Noomhorm, 2007). عطر و بوی نمونه‌ها از 1 تا 5 بر مبنای 5 عالی، 4 خوب، 3 متوسط، 2 ضعیف و 1بوی نامطلوب نمره دهی شدند.

فاکتورهای پخت: بر اساس حداقل زمان پخت طبق روش سینگ و همکاران (Singh *et al*., 2005) بعد از پخت 5 گرم برنج سفید سالم به شرح زیر انجام گرفت:

نسبت طویل شدن: نسبت طول 10 دانه پخته به طول 10 دانه خام می‌باشد.

جذب آب: نسبت وزن 10 دانه پخته به وزن 10 دانه خام می-باشد.

مواد جامد از دست رفته: آب برنج پخته، به ارلن خشک از قبل وزن شده منتقل شد سپس در آون$105^{\circ}C$ تا خشک شدن کامل قرار گرفت، تفاوت وزن قبل و بعد ارلن میزان مواد جامد از دست رفته را در 5 گرم برنج پخته بر حسب درصد نشان می‌دهد.

خصوصیات خمیری[1]: خصوصیات خمیری (ویسکوزیته) آرد برنج با دستگاه رپیدویسکوآنالایزر (RVA4 Newport, Australia) بر اساس روش AACC(1995) اندازه‌گیری شد. بدین منظور 3 گرم آرد برنج با 25 گرم آب مقطر در ظرف مخصوص نمونه مخلوط شد و تحت برنامه حرارتی $20^{\circ}C$ تا 95 با نرخ حرارتی $12^{\circ}C/min$ ، مکث در$50^{\circ}C$ به مدت یک دقیقه و در $95^{\circ}C$ به مدت 2/5 دقیقه و خنک کردن خمیر تا دمای $50^{\circ}C$ و توقف در این دما به مدت 1/4 دقیقه قرار گرفت. سپس مشخصه‌های دمای خمیری شدن، ویسکوزیته حداکثر[2] (ویسکوزیته در شروع دمای $95^{\circ}C$)، ویسکوزیته حداقل[3] (ویسکوزیته در پایان دمای $95^{\circ}C$)، ویسکوزیته نهایی[4] (ویسکوزیته در لحظه پایان در $50^{\circ}C$) و دو مشخصه فرعی شکست ویسکوزیته[5] (از تفاضل ویسکوزته حداکثر و حداقل) و برگشت ویسکوزیته[6] (از تفاضل ویسکوزیته نهایی و حدکثر) از آن بر حسب سانتی‌پوآز (Cp) بدست آمد.

1 Pasting properties
2 Peak viscosity
3 Through viscosity
4 Final viscosity
5 Breakdown viscosity
6 Setback viscosity

خصوصیات بافت: با دستگاه بافت‌سنج (TA. XT Plus Stable Micro Systems Ltd, UK) یک دانه برنج پخته تا 50% ارتفاع اولیه با پروب استوانه‌ای با قطر 25 mm و سرعت پیش‌آزمون 1 mm/s و با سرعت آزمون و پس‌آزمون 0/50 mm/s در دو مرحله متوالی با فاصله تنفس 5 s فشرده شد. سپس از روی منحنی مربوطه (TPA) مشخصه سختی برنج پخته[7] و چسبندگی برنج[8] قرائت شد. این آزمون برای هر تیمار 10 تکرار داشت و نتیجه نهایی به صورت میانگین 10 تکرار بیان شد (Gujral & Kumar, 2003; Yu *et al*., 2009).

آنالیز حرارتی: 3 میلی‌گرم آرد در پن دستگاه سنجش تفرق حرارتی[9] (DSC1, Mettler Toledo, Switzerland) ریخته و 10 µl آب به آن اضافه شد و به مدت یک شب برای پخش یکنواخت آب در آرد به نمونه فرصت داده شد. سپس نمونه تحت برنامه حرارتی 20 تا 100 درجه سلسیوس با نرخ حرارتی $10^{\circ}C/min$ قرار گرفت. از پن خالی به‌عنوان رفرنس استفاده شد. ترموگرام مربوطه رسم شده و مشخصه های دمای شروع، دمای پیک و دمای نهایی ژلاتینه‌شدن و آنتالپی ژلاتینه‌شدن از سطح زیر منحنی از شروع تا پایان ژلاتینه‌شدن در ناحیه گذار بر حسب j/g به‌دست آمد (Wiset *et al*., 2005; Jaisut *et al*., 2009).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار $SPSS_{19}$ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌دار 95 درصد صورت گرفت. هر یک از نمونه‌ها در سه تکرار تهیه و آزمون‌های مربوطه در مورد آنها انجام شد.

نتایج و بحث

راندمان برنج سالم

راندمان برنج سالم در تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد ($P<0.05$) (جدول 1) و با افزایش زمان بخاردهی افزایش یافت (جدول 2). این افزایش به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته در لایه‌های بیرونی و حل شدن ترکیباتی مانند پروتئین در آن و ایجاد دیوار سفت در لایه خارجی می باشد (Fellers & Deissinger, 1983). افزایش راندمان برنج سالم در برنج پاربویل نیز به دلیل ژلاتینه شدن کل برنج و سخت‌تر شدن بافت آن نسبت داده شد (Soponrinnarit *et al*., 2006).

7 Hardness (kg)
8 Adhesiveness (kg/s)
9 Differential scanning calorimetry

سختی برنج خام

با اعمال تیمار بخاردهی سختی برنج خام نیز افزایش یافت (هر چند این افزایش معنی‌دار نبود) که منجر به افزایش راندمان برنج سالم شد(جدول 2 و 1). به بیان دیگر خرده برنج در اثر افزایش سختی کاهش یافت. سخت‌تر شدن بافت برنج به ژلاتینه شدن سطحی نشاسته برنج در اثر حرارت (Marshal *et al*., 1993) و دناتوره شدن پروتئین در آندوسپرم (Jaisut et al., 2009) نسبت داده می‌شود. محققین دیگری نیز افزایش سختی تحت تاثیر تیمار بخاردهی را گزارش کرده‌اند (Gujral & Kumar,2003; Fellers & Deissinger, 1983).

رنگ برنج

زردی رنگ برنج نیز در تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت (جدول 1). تیمار شاهد و تیمار محیطی کمترین زردی رنگ و تیمارهای بخاردهی بیشترین زردی رنگ را داشتند (جدول 2) و با افزایش زمان بخاردهی زردی بیشتر افزایش می‌یافت. علت تغییر رنگ، واکنش-های قهوه‌ای شدن مایلارد است که به ترکیب پروتئین دانه و قند در اثر حرارت‌دهی مربوط می‌شود (Lamberts *et al*., 2006; Sirisoontarak & Noomhorm, 2007; Chrastil, 1990). افزایش زردی رنگ، با افزایش تیمار حرارتی گزارش شده است (Wiset *et al*., 2005).

عطر و بوی برنج

عطر و بو یکی از مهمترین خصوصیات مثبت برای خرید برنج ایرانی است. بعضی از ارقام برنج مانند طارم، بسیار معطر می‌باشند. بنابراین تاثیر هر فرایندی بر عطر و بوی برنج حائز اهمیت است. فرایند بخاردهی تاثیر کاملا منفی بر عطر و بوی برنج خام رقم طارم داشت به‌خصوص وقتی شلتوک اولیه رطوبت بالایی داشت. عطر و بو برای شلتوک رطوبت بالا از امتیاز عالی به بد و برای شلتوک رطوبت پایین از امتیاز عالی به متوسط تنزل یافت (جدول 1 و 2). این کاهش می‌تواند به‌دلیل تسریع خروج مواد معطر در اثر حرارت باشد. به همین علت برای ارقام معطر، انبارمانی تسریع‌یافته با فرایند بخاردهی قابل توصیه نمی‌باشد و روش‌های نگهداری در دما و رطوبت مشخص، پیشنهاد می‌گردد (Rayaguru *et al*., 2011). رقم طارم نگهداری شده در شرایط محیطی توصیه شده، کاهش کمتری در میزان عطر و بو نشان داد و از عالی به خوب تنزل یافت.

فاکتورهای پخت

نسبت طویل شدن دانه بین تیمارها متفاوت بود و تیمار محیطی بالاترین مقدار نسبت طویل شدن را داشت (جدول 2). برای رقم باسماتی که رقم معطر و صادراتی هند و پاکستان است از روش محیطی کنترل‌شده برای انبارمانی تسریع‌یافته استفاده کردند که تیمار محیطی، افزایش نسبت طویل شدن دانه نشان داد (Rayaguru *et al*., 2011). میزان طویل شدن دانه برای برنج سفید نگهداری شده در آون با دمای 90 تا 110 درجه سانتی‌گراد در زمان‌های 1 تا 9 ساعت نسبت به نمونه نگهداری شده به روش طبیعی بیشتر بود (Faruq *et al*., 2003). شلتوک نگهداری شده یک رقم در آون با دمای 80، 100 و 120 درجه در زمان‌های 1/5 تا 17 ساعت نیز، افزایش طویل شدن دانه و جذب آب را نشان داد (Rosniyana *et al*., 2004). افزایش نسبت طویل شدن دانه در انبارمانی طبیعی گزارش شده است (Juliano, 1985; Sodhi *et al*., 2003). در بررسی خصوصیات ارقام برنج طی انبارمانی طبیعی که رقم طارم هم جزء آن بود، نسبت طویل شدن دانه تغییری نیافت (لطیفی، 1392). در تحقیق حاضر رقم طارم در روش کنترل شرایط محیطی، افزایش طویل شدن معنی‌داری نشان داد که ویژگی مثبت بود.

جذب آب نیز بین تیمارها تفاوت معنی‌دار نداشت. هر سه حالت افزایش در میزان جذب آب (Juliano, 1985; Zhou *et al*., 2002; Gujral & Kumar, 2003)، کاهش در میزان جذب آب (Sowbhagya & Battacharya, 2001; Sodhi *et al*., 2003; Sirisoontarak & Noomhorm, 2007) و عدم تغییر (لطیفی، 1392) طی انبارمانی طبیعی گزارش شده است. تحقیقات متعددی وجود تناقض در کیفیت برنج را طی انبارمانی تایید نمودند (teo *et al*., 2000; Zhou *et al*., 2003; Zhou *et al*., 2007)

مواد جامد ازدست‌رفته، بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. بالاترین میزان مربوط به تیمار شاهد و پایین‌ترین مربوط به تیمار بخاردهی در زمان 20 دقیقه بود. با افزایش زمان بخاردهی میزان مواد ازدست‌رفته کمتر می‌شد و در تیمار محیطی نیز به‌طور معنی-داری از شاهد کمتر بود (جدول 2). مهمترین تغییر در خصوصیت پخت طی انبارمانی، کاهش مواد جامد از دست رفته است (Juliano, 1985; Sowbhagya & Battacharya, 2001; Gujral & Kumar, 2003; Sodhi *et al*., 2003; Zhou et al., 2007) که علت آن را کاهش حلالیت گرانول نشاسته و پروتئین طی انبارمانی بیان نمودند. در انبارمانی تسریع‌یافته کاهش مواد جامد ازدست‌رفته به دلیل فرایند حرارتی، نشان از قوی‌تر شدن دیواره سلولی و تشکیل کمپلکس آمیلوز- چربی است که مانع از نشر مواد در پخت می‌شود (Jaisut *et al*., 2009; Soponronnarit *et al*., 2008) .

خصوصیات خمیری

با توجه به شکل 1 منحنی ویسکوزیته تیمارهای بخاردهی و

تیمار محیطی متفاوت با تیمار شاهد بود. در تیمار بخاردهی، ویسکوزیته حداکثر و شکست ویسکوزیته نسبت به تیمار شاهد کاهش، و برگشت ویسکوزیته و دمای خمیری شدن (دما در شروع افزایش ویسکوزیته) افزایش داشت. شدت کاهش ویسکوزیته حداکثر، مرتبط با رطوبت و زمان بخاردهی بود هرچه رطوبت اولیه شلتوک بالاتر و زمان بخاردهی بیشتر بود به دلیل ژلاتیناسیون بیشتر، تغییرات بیشتر شد (جدول 2). ویسکوزیته حداکثر به دلیل ژلاتینه‌شدن نشاسته و توان کمتر جذب آب، کاهش یافت. ویسکوزیته حداکثر نشانه ظرفیت جذب آب مخلوط، شکست ویسکوزیته نشانه درجه متلاشی شدن گرانول و برگشت ویسکوزیته نشانه خاصیت ژله‌ای یا رتروگرادسیون می‌باشد (Soponronnarit *et al*., 2006). در انبارمانی طبیعی ویسکوزیته حداکثر ابتدا افزایش و در زمان طولانی‌تر نگهداری، کاهش می‌یابد. کاهش ویسکوزیته حداکثر طی زمان طولانی انبارمانی نشانه آن است که گرانول نشاسته انبارمانده مقاومت بیشتری به بادکردگی از خود نشان می‌دهد (Zhou *et al*, 2003). مهمترین تغییر قابل توجه در منحنی ویسکوزیته، کاهش شکست ویسکوزیته در زمان انبارمانی کافی است که نشانه نظم یافتن بیشتر اجزاء برنج و مقاومتر بودن گرانول به تخریب بعد پخت است (Sowbhagya & Battacharya, 2001; Zhou *et al*., 2003). برگشت ویسکوزیته نیز معمولا طی انبارمانی افزایش می‌یابد که مرتبط با پدیده رتروگرادسیون یا همان بیاتی است و یک فاکتور کلیدی در تشخیص مناسب بودن آرد برنج برای فراورده های بدون گلوتن می‌باشد (Mariotti *et al*., 2009). در انبارمانی تسریع‌یافته نیز به کاهش ویسکوزیته حداکثر، افزایش برگشت ویسکوزیته (Jaisut *et al*., 2009; Soponronnarit *et al*., 2008) و کاهش شکست ویسکوزیته (Wiset *et al*., 2005) اشاره شده است. تغییرات مشخصه‌های ویسکوزیته در تیمارهای بخاردهی شده، مطابق با این نتایج و نتایج انبارمانی طبیعی به مدت طولانی بوده است. اما در تیمار محیطی خصوصیات ویسکوزیته مطابق با روند انبارمانی طولانی نبود. در زمان کوتاه انبارمانی گاهی شاهد افزایش ویسکوزیته حداکثر و افزایش شکست ویسکوزیته هستیم (لطیفی،1392) که در تیمار محیطی نیز اینطور بود.

جدول۲- مقایسه میانگین صفات رقم طارم

*تیمار	راندمان برنج سالم(٪)	سختی برنج خام(Kg)	زردی (b*)	نسبت طویل- شدن	مواد جامد از- دست- رفته(٪)	ویسکوزیته ماکزیمم(CP)	شکست ویسکوزیته	برگشت ویسکوزیته	دما خمیری شدن(°C)	چسبندگی (kg/s)	دمای شروع ژلاتینه	دمای پیک ژلاتینه	دمای نهایی ژلاتینه	آنتالپی (J/g)	عطر و بوی برنج خام
Tc	۴۶/۶۷c ±۱/۱۵	۱۴/۵۳a ±۱/۸	۱۰/۷۸d ±۱/۲۷	۱/۶۷c ±۰/۰۵	۹/۴۶a ±۰/۶۱	۳۸۰۱b ±۷۴	۶۷۰b ±۳۴	۵۱۸c ±۲۵	۸۰/۱e ±۰/۵۱	-۰/۰۲۷a ±۰/۰۰۶	۷۱/۷۶f ±۰/۰۸	۷۷/۰۱g ±۰/۰۱	۸۲/۲۷d ±۰/۱۷	۶/۴۹a ±۰/۰۵	۴/۵۵a
Te	۴۷/۳۳c ±۱/۱۵	۱۴/۶۰a ±۰/۷	۱۰/۱۶d ±۰/۶۶	۱/۸a ±۰/۰۳	۸/۳۳b ±۰/۲۳	۴۲۱۴a ±۸۳	۹۵۱a ±۵۲	۵۰۸c ±۳۷	۸۰/۶۳e ±۰/۰۵	-۰/۰۲۵a ±۰/۰۱۳	۷۱/۸۸f ±۰/۰۴	۷۷g ±۰/۰۰	۸۲/۰۴d ±۰/۰۵	۶/۰۸b ±۰/۱۱	۳/۵۵b
Th_5	۵۱/۳۳ab ±۳/۲	۱۵/۲۰a ±۰/۲۶	۱۳/۶۰b ±۰/۸۵	۱/۶۶c ±۰/۰۴	۶/۸۶cd ±۰/۴۱	۲۸۸۳cd ±۱۰۳	۲۸۱de ±۲۸	۸۴۶a ±۳۳	۸۴/۶c ±۰/۹	-۰/۰۲۱a ±۰/۰۰۱	۷۲/۰۶e ±۰/۰۸	۷۸/۰۴f ±۰/۰۷	۸۵/۲۲c ±۰/۱۷	۴/۹۲ef ±۰/۱۱	۱/۲۲d
Th_{10}	۵۲/۳۳ab ±۱/۱۵	۱۵/۵۶a ±۰/۴۰	۱۳/۶۶b ±۰/۲۳	۱/۶۹c ±۰/۰۲	۶/۴۰de ±۰/۴	۲۶۹۲d ±۱۳	۲۲۳e ±۷/۲	۸۵۷a ±۱۱	۸۵/۹۳b ±۰/۳۷	-۰/۰۱۹a ±۰/۰۰۱	۷۳/۳۶d ±۰/۰۸	۷۹/۶۳c ±۰/۰۹	۸۵/۹۶b ±۰/۷۹	۴/۷۵f ±۰/۲۱	۱/۶۶d
Th_{20}	۵۴a ±۱/۷	۱۵/۸۳a ±۰/۱۵	۱۵/۴۳a ±۰/۷۵	۱/۸a ±۰/۰۴	۶/۶۰d ±۰/۴	۲۴۱۷e ±۱۲۷	۳۰۳d ±۹	۷۹۵ab ±۴۳	۸۷/۱۶a ۰/±۳۷	-۰/۰۰۸a ±۰/۰۰۰	۷۴/۲۶b ±۰/۰۹	۸۱/۰۸a ±۰/۱۲	۸۷/۲۷a ±۰/۱۰	۴/۸۴ef ±۰/۰۸	۱/۳۳d
Tl_5	۵۰/۳۳b ±۱/۱۵	۱۵/۳۰a ±۰/۳۶	۱۲/۱۳c ±۰/۵۶	۱/۷۷ab ±۰/۰۵	۷/۴۶c ±۰/۱۱	۲۹۱۶c ±۲۲۶	۲۷۵de ±۳۰	۷۴۶b ±۱۸	۸۳/۵۱d ±۰/۵۳	-۰/۰۱۵a ±۰/۰۰۰	۷۳/۴۱d ±۰/۰۱	۷۸/۴۸e ±۰/۰۴	۸۴/۸۳c ±۰/۲۳	۵/۴۳c ±۰/۰۷	۲/۸۸c
Tl_{10}	۵۰/۶۷b ±۰/۵۷	۱۵/۸۶a ±۰/۱۱	۱۳/۸۰b ±۰/۱۷	۱/۶۹c ±۰/۰۳	۶/۴۶d ±۰/۱۱	۲۸۷۰cd ±۲۹	۲۹۵d ±۴۹	۷۷۵b ±۷۲	۸۴/۶c ±۰/۸	-۰/۰۱۲a ±۰/۰۰۰	۷۳/۹۱c ±۰/۰۴	۷۹/۱۹d ±۰/۰۱	۸۵/۱۷c ±۰/۰۳	۵/۰۲de ±۰/۰۳	۳bc
Tl_{20}	۵۳ab ±۰/۰۰	۱۵/۷۳a ±۰/۲۰	۱۴/۶۰ab ±۰/۳۶	۱/۷۰bc ±۰/۰۴	۵/۸۰e ±۰/۳۴	۲۸۰۱cd ±۱۰۹	۳۷۸c ±۱۶	۸۰۶ab ±۷	۸۶/۴ab ±۰/۵۱	-۰/۰۱۲a ±۰/۰۰۰	۷۴/۷۵a ±۰/۰۷	۸۰b ±۰/۰۰	۸۶/۰۴b ±۰/۰۶	۵/۲۳cd ±۰/۰۴	۳/۳۳cd

*Tcرقم طارم شاهد، Te طارم در شرایط محیطی کنترل شده، ، Th5,10,20 تیمارهای رطوبت بالا (۲۴٪) و به ترتیب ۵،۱۰،۲۰ دقیقه بخاردهی شده، Tl5,10,20 تیمارهای رطوبت پایین (۱۷٪) و به ترتیب ۵،۱۰،۲۰ دقیقه بخاردهی شده می‌باشند. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول 1- تجزیه واریانس رقم طارم

آزمایشات	معنی‌داری رقم طارم
راندمان برنج سالم(٪)	0/000**
سختی برنج خام(kg)	0/235
زردی برنج (b*)	0/000**
نسبت طویل‌شدن	0/003**
نسبت جذب آب	0/136
مواد جامد ازدست-رفته(٪)	0/000**
ویسکوزیته ماکزیمم(Cp)	0/000**
شکست ویسکوزیته	0/000**
برگشت ویسکوزیته	0/000**
سختی برنج پخته(kg)	0/177
چسبندگی(Kg/s)	0/057
دمای شروع ژلاتینه (C°)	0/000**
دمای پیک ژلاتینه	0/000**
دمای نهایی ژلاتینه	0/000**
آنتالپی(J/g)	0/000**
عطر و بوی برنج خام	0/000**
عطر و بوی برنج پخته	0/000**

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد و * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد

ژلاتینه شدن و تشکیل کمپلکس آمیلوز- چربی هر دو در فرایندهای حرارتی ایجاد می‌شوند و گاها نقش متفاوتی در تغییرات ویسکوزیته بازی می‌کنند. زمانی که تیمارها تحت فرایند بخاردهی قرار گرفتند میزان ژلاتینه شدن از تیمار محیطی بیشتر بوده است و بدلیل جذب آب سخت‌تر، ویسکوزیته حداکثر کاهش یافت. هرچه رطوبت اولیه شلتوک بالاتر و زمان بخاردهی بیشتر می‌شد، دمای خمیری و میزان ژلاتینه شدن بیشتر شد و ویسکوزیته حداکثر بیشتر کاهش یافت. اما در تیمار محیطی کمپلکس آمیلوز- چربی نقش مهمتری داشت زیرا دمای ژلاتینه شدن تیمار محیطی تقریبا برابر با نمونه شاهد بود، به بیان دیگر ژلاتینه شدن چندانی برای تیمار محیطی اتفاق نیفتاد و این کمپلکس موجب افزایش ویسکوزیته حداکثر حتی نسبت به نمونه شاهد شد. به کاهش ویسکوزیته حداکثر به دلیل ژلاتینه شدن و افزایش ویسکوزیته حداکثر به دلیل تشکیل کمپلکس آمیلوز- چربی طی فرایندهای حرارت‌دهی در برنج اشاره شده است (Jaisut *et al*., 2009; Kaur and Singh, 2000).

خصوصیات بافت

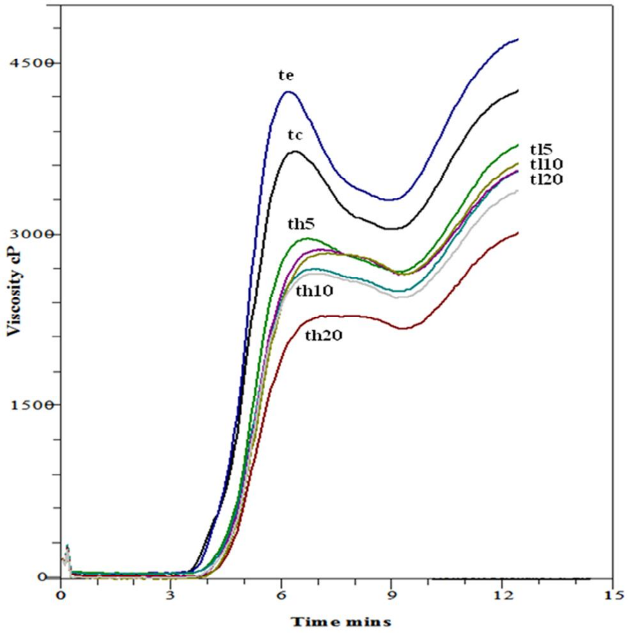
سختی برنج پخته و چسبندگی رقم طارم در هر دو تیمار نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری نداشت (جدول 1) هرچند تیمارهای بخاردهی به مدت 20 دقیقه کمترین چسبندگی و تیمار شاهد بالاترین چسبندگی را داشت اما معنی‌دار نبود. به افزایش سختی برنج پخته به دلیل تشکیل کمپلکس آمیلوز- چربی و کاهش چسبندگی در انبارمانی طبیعی اشاره شد (Sirisoontarak & Noomhorm, 2007; Sodhi *et al*., 2003). همین تغییرات در فرایند بخاردهی برای انبارمانی تسریع‌یافته، به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته نیز اشاره شده است (Gujral & Kumar, 2003).

آنالیز حرارتی

تیمارهای بخاردهی شده نسبت به تیمار شاهد، افزایش معنی‌دار هر سه دمای ژلاتینه شدن و کاهش معنی‌دار آنتالپی را نشان دادند و با افزایش زمان بخاردهی و میزان رطوبت، دماهای ژلاتینه بیشتر افزایش و آنتالپی بیشتر کاهش می‌یافت (جدول 2). نتایج آنالیز

حرارتی یک رقم برنج در دو حالت خشک‌شدن به روش عادی و خشک‌شدن در دمای بالا (برای به‌دست آمدن برنجی با کیفیت مشابه برنج انبار مانده) بیانگر آن بود که دمای ژلاتینه افزایش و آنتالپی کاهش یافت (Jaisut *et al.*, 2009; Wiset *et al.*, 2005). علت افزایش دمای ژلاتینه را ژلاتینه شدن نشاسته و تشکیل کمپلکس چربی- آمیلوز دانستند که در خشک‌کردن با دمای بالا ایجاد می‌شود. در واقع تشکیل ژل نفوذ آب را سخت‌تر کرده و همین موجب افزایش دمای ژلاتینه گرانول نشاسته می‌شود. از آنجائیکه آنتالپی میزان انرژی مورد نیاز برای ذوب کامل کریستال‌های نشاسته می‌باشد (Zhou *et al.*, 2010) میزان آن بعد از ژلاتینه شدن بخشی از نشاسته در اثر حرارت، کاهش یافت.

در تیمار کنترل شرایط محیطی دماهای ژلاتینه تغییری نکرد و آنتالپی کاهش یافت. به عدم تغییر آنتالپی و دمای ژلاتینه یک رقم طی سه ماه انبارمانی در دمای 25 درجه سانتی‌گراد نیز اشاره شد در حالیکه در دماهای بالاتر نگهداری با افزایش زمان انبارمانی، دمای ژلاتینه افزایش می‌یافت (Teo *et al.*, 2000). نتایج ماه شانزدهم انبارمانی سه رقم در دو دمای 4 و 37 درجه بیان‌گر آن بودکه آنتالپی تغییری نیافت اما دمای ژلاتینه در نمونه نگهداری شده در 37 درجه افزایش یافته بود (Zhou *et al.*, 2003). در این پروژه با توجه به دمای بالای فصل برداشت (مرداد ماه) و دمای43 درجه تیمار محیطی، تغییری در دمای ژلاتینه شدن بین تیمار شاهد و تیمار محیطی بوجود نیامد و آنتالپی مقداری کم شد.



شکل1- منحنی ویسکوزیته رقم طارم

نتیجه‌گیری

آشکار است که تسریع در زمان رسیدن برنج سبب کاهش فضاهای مورد نیاز و هزینه‌های نگهداری می‌شود و بدین سبب انبارمانی تسریع‌یافته دارای اهمیت است. با توجه به تاثیر منفی تیمار بخاردهی بر عطر و بوی رقم طارم علیرغم تاثیرات مثبت بر کیفیت، این روش برای انبارمانی تسریع‌یافته رقم طارم قابل توصیه نمی‌باشد. اما تیمار نگهداری شده طارم در دمای 43 درجه و رطوبت نسبی 74% به مدت 11 روز با وجود کاهش یک درجه‌ای عطر و بو، تاثیرات مثبتی بر کیفیت رقم بخصوص بر ویژگی‌های پخت مانند افزایش ویژگی طویل شدن دانه و کاهش مواد جامد از دست‌رفته داشت و در عمل قابل اجرا است.

سپاسگزاری

از دانشگاه ارومیه برای حمایت مالی تحقیق، از موسسه تحقیقات برنج کشور که قسمتی از پروژه با امکانات آن انجام گرفت، از خانم دکتر فاطمه حبیبی برای همکاری در انجام آزمون خواص خمیری، از موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و خانم دکتر فوژان بدیعی برای همکاری در انجام آنالیز حرارتی نمونه‌ها سپاسگزاری می‌شود.

منابع

AACC. 1995. Determination of the pasting properties of rice with the rapid visco analyzer. AACC method. 61-02.01.

Bhattacharya, K.R. 2013. Process for accelerated aging of rice. *Cereal Foods World*, 58(1), 19-22.

Chrastil, J. 1990. Influence of storage on enzymes in rice grains. Agricultural and food chemistry, 38, 1198-1202

Faruq, G., Hadjim, M.O. and Meisner, C.A. 2003. Kernel Ageing: An Analysis in Four Malaysian Rice Varieties. *International Journal of Agriculture and Biology*, 5(3), 230-232.

Fellers, D.A., and Deissinger, A.E. 1983. Preliminary study on the effect of steam treatment of paddy on milling properties and rice stickiness. *Cereal Science*, 1, 147-157.

Gujral, H.S. and Kumar, R. 2003. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. *Food Engineering*, 59, 117-121.

Jaisut, D., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W., Tungtrakul, P. and Soponronnarit, S. 2009. Accelerated aging of jasmine brown rice by high temperature fluidization technique. *Food Research International*, 42, 674-681.

Juliano, B.O. 1985. Rice Chemistry and Technology. In B.O. Juliano, Aging or storage change. (pp. 491-511) St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists.

Kaur, K. and Singh, N. 2000. Amylase-lipid complex formation during cooking rice flour. *Food Chemistry*, 71, 511-517.

Lamberts, L., Brijs, K., Mohamed, R., Verhelst, N. and Delcour, J.A. 2006. Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *Agricultural and Food Chemistry*, 54, 9924-9929.

Lu, R. and Siebenmorgen, T.J. 1995. Correlation of head rice yield to selected physical and mechanical properties of rice kernels. *Transactions of the* ASAE, 38(3), 889-894.

Mariotti, M., Sielli, N., Catenacci, F., Pagani, M.A. and Lucisano, M. 2009. Retrogradation behaviour of milled and brown rice paste during aging. *Cereal Science*, 49, 171-177.

Marshal, W.E., Wadsworth, J.A., Verma, L.R. and Velupillai, L. 1993. Determining the degree of gelatinization in parboiled rice. *Cereal Chemistry*, 70(2), 226-230.

Rayaguru, K., Pandey, J.P. and Routray, W. 2011. Optimization of process variables for accelerated aging of Basmati rice. *Food Quality*, 34(1), 56-63.

Rosniyana, A., Hashifah, M.A. and Shariffahnorin, S.A. 2004. Effect of heat treatment (accelerated ageing) on the physicochemical and cooking properties of rice at different moisture contents. *Tropical Agriculture and Food Science*, 32(2), 155-162.

Singh, N., Kaur, L., Sohdi, N.S. and Sekhon, K.S. 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivar. *Food Chemistry*, 89, 253-259.

Sirisoontarak, P. and Noomhorm, A. 2007. Change in physicochemical and sensory properties of irradiated rice during storage. *Stored Product Research*, 43, 282- 289.

Sodhi, N.S., singh, N., Avora, M. and Sing, J. 2003. Change in physicochemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. *Food Processing and Preservation*, 27, 387-400.

Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapairoj, C. 2006. Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *Food Engineering*, 75, 423-432.

Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. and Taechapairoj, C. 2008. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. *Food Engineering*, 85, 268- 276.

Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R. 2001. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. *Cereal Science*, 34, 115-124.

Teo, C.H., Abd. Karim, A., Cheah, P.B., Norziah, M.H. and Seow, C.C. 2000. On the role of protein and starch in the aging of nonwaxy rice flour. *Food Chemistry*, 69, 229- 238.

Wiset, L., Srzednicki, G., Wootton, M., Driscoll, R.H. and Blakeney, A.B. 2005. Effect of high temperature drying on physicochemical properties of various cultivars of rice. *Drying Technology*, 23, 2227-2237.

Young, J.F. 1967. Humidity control in the laboratory using salt solution- A review. *Applied Chemistry*, 17, 241-245.

Yu, S.F., Ma, Y. and Sun, D.W. 2009. Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. *Cereal Science*, 50, 139-144.

Zhou, X., Baik, B.K., Wang, R. and Lim, S.T. 2010. Retrogradation of waxy and normal corn starch gels by temperature cycling. *Cereal Science*, 51, 57-65.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. 2002. Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes. *Cereal Science*, 35, 65-78.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2003. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. Food Research International, 36, 625- 634.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2007. Effect of storage temperature on cooking behavior of rice. *Food Chemistry*, 105, 491-497.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 798-807

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 807-798

Effect of accelerated aging on physicochemical properties of rice cultivar Tarom

A. Latifi[1], M. Esmaiili[2*]

Received: 2016.04.24
Accepted: 2016.10.29

Introduction: More than half of the world's people consume rice. Rice consumers, especially in Asia know that cooking properties of rice change with its storage. This phenomenon is called aging. The increase in hardness, decrease in adhesiveness during cooking and decrease in solid loss, are the major changes in rice which caused by aging. However, while some consumers prefer new rice like Japanese (Zhou, 2002) Iranian and many other consumers prefer aged rice. The change in physicochemical properties of aged rice is caused by the alteration and interaction in lipid, protein and starch (Juliano, 1985; Sodhi, et al. 2003; Teo et al. 2000). The conventional aging of rice takes 3-6 months (Jaisut et al. 2009; Soponronnarit et al. 2008).Yet this method needs more space for storage leading to high operating costs. It is necessary to examine other methods that can reduce the aging time and maintain the rice properties similar to those obtained by the conventional aging process. The process for accelerated aging could be developed either by dry or wet heat (Rayaguru et al. 2011; Rosniyana et al. 2004). The dry heat method was successfully tested with heating of rice in high temperatures in a closed container (Battacharya, 2013). One of the basic problems that occur during dry heating is that any moisture loss leads to cracking. Although the concept is simple in theory, it is complicated in practice. Another drying process for accelerated aging of rice employs a fluidized bed dryer. However, this may decrease head rice yield (Soponronnarit et al. 2008; Wiset et al. 2005), not to mention the fact that these dryers are rare and expensive in rice producing countries. Hence, wet heat is more practical and economical in the mentioned countries. The environmental optimum conditions for accelerated aging of Basmati paddy, at temperature 30–50 °C, relative humidity 50–90% and aging period 3–14 days, has been studied and reported to be 43 °C, 71.0% relative humidity (RH) and 11 days (Rayaguru et al., 2011). Parboiling has been implemented as a method of improving the quality of rice. Nonetheless, it is a lengthy process involving soaking, steaming and drying, which results in the complete gelatinization of starch (Gujral, and Kumar, 2003). According to the importance of accelerated aging, the aim of this study was to evaluate quality attributes and physicochemical properties improvement of Tarom variety of paddy.

Materials and methods: In this study, Tarom variety of paddy (a local variety, with high-quality and large area cultivation in Mazandaran province) was chosen. For accelerated aging, two methods were done: Steaming (or steam curing) and controlling the environmental conditions. In steaming method, the paddy was divided into two portions. The first which had an initial moisture content of 24% (wet base) and the second was the paddy which had been rested at the ambient temperature allowing its moisture content to reach 17%. To accelerate aging of the paddy in two moisture levels *i.e.* 24 and 17%, the samples were treated by steaming (or steam curing) for 5, 10 and 20 min, and then both of samples were dried with fixed bed dryer at 40 °C until the grain moisture content reached 11%. Afterwards, the paddy samples were dehusked and polished with satake miller apparatus. Milled whole rice kernels were separated from broken rice for evaluation of physicochemical properties. In controlling the environmental conditions, the samples were dried with fixed bed dryer at 40 °C until the moisture content reached 12%, and then stored at 43 °C and RH=74% for 11 days. Similarly, to produce white rice, the paddy samples were dehusked and polished as mentioned above. The control sample which had an initial moisture content of 24% (wet base) was only dried at 40 °C to moisture contend wet basis 11%. Several parameters including head rice yield (the percentage of the mass of white rice that remained as head rice after milling), hardness of raw kernel (the maximum force for breakage of raw white rice), color (b value), chalkiness (weight of the kernel that had chalkiness over one half of the kernel surface in 5 gram of white rice), aroma (using hedonic test), pasting properties (including the peak viscosity, final viscosity, breakdown viscosity and setback viscosity), texture profile analysis (TPA) and thermal properties of rice (the onset temperature, peak temperature, conclusion temperature and enthalpy of gelatinization) were determined. The resultant data were subjected to the analysis of variance using SPSS (ver. 19) software. Duncan's test was used to establish the differences between mean values at 95% confidence interval.

1. PhD student, Food science and technology, Researcher of Rice Research Institute of Iran, Mazandaran branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO).
2. Associate professor, Department of Food Science and Technology, Urmia University. Urmia.
(* Corresponding author. E-mail: m.esmaiili@urmia.ac.ir; esmaiilim@yahoo.ie)

Results and discussions: The quality attributes of the produced white rice were compared with that of the control samples. By doing the steam curing treatment, solid loss of the rice decreased, adhesiveness decreased, gelatinization temperature increased and viscosity changed. All of the mentioned changes were similar to the alterations that occur in naturally aged rice. By controlling the environmental conditions, the solid loss decreased and the elongation increased. According to sensory and apparent characteristics including aroma and chalkiness, treatment by controlling the environmental conditions could be recommended. Steaming treatment for the three levels of time led to complete loss of aroma.

Key words: Rice aging; Cooking; Texture; Pasting Properties; Thermal Analysis

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 808-819

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 819-808

جایگزینی شکر با شیره خرما در کیک فنجانی

اعظم ایوبی[1*] - مهدا پورابوالقاسم[2]

تاریخ دریافت: 1395/02/17
تاریخ پذیرش: 1395/06/20

چکیده

شیره خرما یک شیرین‌کننده طبیعی است که جایگزین مناسبی برای شکر در فرمولاسیون مواد غذایی به‌شمار می‌رود. در این تحقیق، اثرات شیره خرما به‌عنوان جایگزین شکر (در چهار سطح 25، 50، 75 و 100 درصد) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (افت وزنی،pH، تخلخل، دانسیته، رطوبت، سفتی بافت، رنگ پوسته و رنگ بافت) و حسی (رنگ پوسته، بافت، طعم و پذیرش کلی) کیک فنجانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که تاثیر شیره خرما بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک معنی‌دار بوده است. مشاهدات نشان داد که با افزایش درصد شیره خرما در فرمولاسیون کیک، افت وزنی، pH، تخلخل، روشنی، زردی و امتیازات حسی کاهش و دانسیته، رطوبت، سفتی بافت و قرمزی افزایش یافت. کمترین افت وزنی (19/2 درصد)، تخلخل (19/5 درصد) و بیشترین مقدار دانسیته (0/5 گرم بر سانتی‌متر مکعب)، تیرگی رنگ پوسته و بافت کیک (به‌ترتیب 32/47 و 35/64) مربوط به سطح جایگزینی 100 درصد بود.

واژه‌های کلیدی: تخلخل، رنگ، سفتی، شیره خرما، کیک فنجانی.

مقدمه

یکی از دلایل افزایش وزن و در نتیجه بروز بیماری‌هایی نظیر چاقی، فشار خون، دیابت و بیماری‌های قلبی عروقی داشتن رژیم‌های غذایی پرکالری به همراه عدم فعالیت بدنی کافی می‌باشد (Chase, 1979; Johnson & Yon, 2010). یکی از راه‌های اجتناب از این مشکلات مصرف غذاهای کم کالری است. کاهش میزان شکر در محصولات غذایی و جایگزینی شکر با ترکیبات شیرین‌کننده دیگر علاوه بر تولید محصولات غذایی متنوع کاهش میزان کالری دریافتی و بهبود وضعیت سلامتی را نیز به دنبال دارد (Nobors, 2002). سازمان بهداشت جهانی محدود کردن شکر را تا 10 درصد انرژی کل توصیه می‌کند (Manickavasagan *et al.*, 2013).

کیک یکی از فرآورده‌های غذایی دارای شکر زیاد است که با توجه به ماندگاری نسبتا بالا به‌طور گسترده‌ای توسط گروه‌های مختلف جامعه مورد مصرف قرار می‌گیرد (Rosental, 1995). ساکارز یکی از ترکیبات اساسی در فرمولاسیون کیک بوده و علاوه بر تأمین انرژی و شیرین‌کنندگی، در تردی و افزایش حجم فرآورده نیز موثر است. لذا کاهش سطح ساکارز بر ویژگی‌های حسی و ساختاری محصول تاثیر خواهد گذاشت (Frye & Setser, 1992). بر اساس تحقیقات ترکیبات مختلفی نظیر شربت گلوکز، عصاره مالت، شربت اینورت به‌عنوان جایگزین شکر در محصولات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Asghar *et al.*, 2006). کاربرد اریترول در فرمول کیک توسط Lin و همکاران (2003) نشان‌دهنده کاهش امتیازات حسی کیک بوده است. Frye و Setser (1992) ایجاد طعم گس و خشک شدن دهان را با کاربرد پلی دکستروز در کیک گزارش نمودند. جایگزینی شکر با شربت ذرت با فروکتوز بالا در کیک روغنی کاهش حجم، افزایش رطوبت و تیره‌تر شدن رنگ مغز کیک را به دنبال داشت (Johnson & Harris, 1989). بررسی‌های انجام شده روی خصوصیات خمیر و نان‌های غنی شده با ملاس توسط Bakr (1997) نشان داد که نان‌های تولید شده از ارزش غذایی بالا، رنگ و پوسته عالی و بافت مناسبی برخوردار بودند. مطالعه تاثیر استفاده از ملاس به عنوان جایگزین شکر در کیک روغنی توسط آقامحمدی و همکاران (1391) نشان داد که افزایش درصد جایگزینی ملاس به جای شکر، بافت کیک‌ها را سفت‌تر و میزان بیاتی آنها را بیشتر نمود. در حالی که افت وزنی، رطوبت و فعالیت آبی کیک‌ها یک روند نزولی داشت. ارزیابی رنگ نیز نشان‌دهنده تیره‌تر بودن رنگ پوسته و بافت تمامی تیمارها نسبت به شاهد بود. استفاده از ملاس در تولید کلوچه در مطالعه Simurina و Filipčev (2006) بافت مطلوب و ساختار مناسب محصولات تولید شده را به دنبال داشت. افزایش مقدار ملاس،

1- دکترای تکنولوژی مواد غذایی، استادیار، بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
2- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(* - نویسنده مسئول: Email: mayoubi92@uk.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55738

رنگ تیره‌تر محصول را سبب شد.

یکی از تدابیر هوشمندانه به‌منظور کاهش شکر دریافتی، به‌کارگیری میوه‌ها در آماده‌سازی مواد غذایی دارای طعم شیرین می‌باشد. خرما میوه ایده‌آلی برای جایگزینی شکر در مواد غذایی است که در تغذیه روزانه بسیاری از مردم نواحی خشک نقش مهمی را نیز ایفا می‌کند (Jain, 2012). خرما به دلیل دارا بودن شیرینی طبیعی و طعم متمایز مطبوع، هضم راحت و محتوای بسیار بالای قند به‌عنوان یک شیرین‌کننده طبیعی در محصولات غذایی مختلف مورد توجه قرار گرفته است (گوهری اردبیلی و همکاران، 1384). میوه خرما از نظر مواد معدنی نظیر آهن، پتاسیم، منگنز، روی و ویتامین‌هایی چون A، B و C بسیار غنی است. فیبرهای رژیمی، کربوهیدارت‌ها، اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب به وفور در آن یافت می‌شود. خرما مقادیر زیادی ترکیبات آنتی‌اکسیدان و آنتی‌موتاژنیک، آنتوسیانین، فنولیک اسید و اسیدهای آزاد و باند شده دارد. همچنین این میوه به دلیل دارا بودن مقادیر زیاد کربوهیدارت، ویتامین‌ها و مواد معدنی و نیز میزان کم پروتئین در فرآیند تخمیر قابل استفاده است. مطالعات جدید نشان است که رشد بسیاری از باکتری‌ها از جمله *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سوبتیلیس* و *سالمونلا تیفی* به میزان زیادی توسط خرما متوقف می‌شود و به‌علاوه خرما می‌تواند در عملکرد قارچها اختلال ایجاد کند (Khaled *et al*., 2000). شیره خرما یکی از باارزش‌ترین محصولات جانبی خرماست که سرشار از قندهای طبیعی نظیر فروکتوز و گلوکز است، اما درصد قند ساکارز در آن کم است. از نظر فیزیولوژی، قند فروکتوز در بدن برای جذب به انسولین نیازی ندارد. بنابراین، ضمن دارا بودن انرژی فراوان، قند مناسبی برای بیماران دیابتی می‌باشد. همچنین، شیره خرما مقدار فراوانی پتاسیم، کلسیم، فسفر و آهن دارد و برای تغذیه کودکان در سنین رشد و بانوان در زمان شیردهی و سالمندان غذای مفیدی به‌شمار می‌رود (شفیعی و همکاران، 1392). از آنجا که حدود 60 درصد از کشت محصول خرما را محصول با کیفیت پایین تشکیل می‌دهد که از نظر اندازه و مزه مناسب مصرف نمی‌باشد و نیز با توجه به بالا بودن میزان قند این بخش از محصول، تولید شیره خرما از این بخش از محصول از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد (Al-Farsi, 2003). شیره خرما محصولی غنی از املاح معدنی و ترکیبات قندی (به‌ویژه گلوکز و فروکتوز) می‌باشد که استفاده از آن به‌عنوان منبع قند طبیعی در انواع محصولات غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Al-Farsi *et al*., 2007). البته لازم به ذکر است که حضور برخی از ترکیبات با طعم خاص و رنگ نامطلوب کاربرد این محصول در بسیاری از فرآورده‌های غذایی را محدود می‌سازد. نتایج بررسی احمدی گاولیقی و همکاران (1390) نشان داد که با توجه به فاکتورهای فعالیت آبی، ارزیابی‌های حسی و نرمی بافت جایگزینی 50 درصد قند مایع خرما با اینورت در کیک لایه‌ای مناسب‌ترین سطح بوده است. شیخ‌زاده و همکاران (1392) جایگزینی 50 درصد پوره خرما با شکر را به عنوان بهترین سطح جایگزینی از نظر تاثیر بر تخلخل و رنگ بافت دونات گزارش نمودند. نتایج بررسی Sidhu و همکاران (2003) بر جایگزینی شکر با شیره خرما در نان بر کیفیت پخت، بافت، عطر و طعم بهتر نمونه‌هایی که در آنها سیروپ خرما به‌طور کامل جایگزین شکرشده بود دلالت داشت.

با توجه به مناسب بودن کیک به‌عنوان میان وعده غذایی به جهت دارا بودن ارزش تغذیه‌ای بالا و اهمیت وجود کیک‌های رژیمی متنوع و متناسب با انواع ذائقه‌ها در سبد فروش این کالا و نیز مزایای کاهش مصرف شکر در وعده‌های غذایی، تولید کیک رژیمی کم شکر با استفاده از شیره خرما و بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی کیک هدف این پژوهش بوده است.

مواد و روش‌ها

شیره خرما از شرکت دمباز و آرد گندم از کارخانه آرد گندم توکل کرمان تهیه شد. سایر مواد اولیه مورد نیاز برای تولید خمیر کیک از فروشگاه‌های سطح شهر کرمان خریداری شد. جدول 1 ویژگی‌های آرد گندم مورد استفاده در تولید کیک، جدول 2 ویژگی‌های شیره خرما و جدول 3 فرمولاسیون مورد استفاده برای تهیه کیک شاهد را نشان می‌دهد. شیره خرما به نسبت‌های 25، 50، 75 و 100 درصد جایگزین شکر شد.

افت وزنی

برای اندازه‌گیری درصد افت وزنی، نمونه‌های کدگذاری شده قبل و بعد از پخت، توزین شده و سپس درصد افت وزنی با توجه به اختلاف وزن‌ها قبل و بعد از پخت محاسبه شد (آقامحمدی و همکاران، 1391).

pH

pH کیک طبق استاندارد ملی ایران شماره 2553 اندازه‌گیری شد.

تخلخل

به‌منظور ارزیابی میزان تخلخل مغز کیک، از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. تصویربرداری توسط اسکنر مدل HP Scanjet 2400 ساخت کشور چین با وضوح 300 انجام شد. تصاویر تهیه شده در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت با فعال کردن قسمت 8 بیت، تصاویر سطح خاکستری ایجاد شد. جهت تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی، قسمت دودویی نرم‌افزار فعال گردید (شکل 1). این تصاویر، مجموعه‌ای از نقاط روشن و تاریک است که محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به عنوان شاخصی از میزان تخلخل نمونه‌ها بر آورد می‌شود. بدیهی است که هر چقدر این نسبت بیشتر باشد بدین

معناست که میزان حفرات موجود در بافت (میزان تخلخل) بیشتر است. در عمل با فعال کردن قسمت Analysis نرم افزار، این نسبت محاسبه و درصد تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Turabi *et al.*,2010).

جدول 1- ویژگی‌های آرد گندم مصرفی

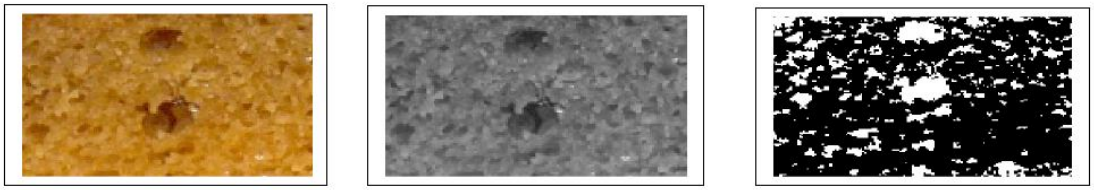
پروتئین (درصد)	خاکستر (درصد)	گلوتن مرطوب (درصد)	رطوبت (درصد)
10/1	0/9	31	13/8

جدول 2- ویژگی‌های شیره خرما

خاکستر (درصد)	بریکس (درصد)	قند (درصد)	فروکتوز (درصد)	گلوکز (درصد)	فیبر خام (درصد)	چربی تام (درصد)	پروتئین (درصد)	pH
1/5	76	65/9	33/1	31/5	0/28	0/1	1/5	4/5

جدول 3- فرمولاسیون کیک شاهد

ترکیبات	آرد	شکر	روغن	تخم‌مرغ	آب	بکینگ پودر	قند اینورت
درصد	23/5	18	18	18	19/5	1	2



الف ب ج

شکل 1- نمونه تصویر تبدیل شده به روش پردازش تصویر (الف- مغز کیک، ب- تصویر خاکستری، ج- تصویر دودویی)

دانسیته

برای اندازه‌گیری دانسیته، ابتدا حجم نمونه‌ها با کمک روش جایگزینی با ارزن تعیین شد و سپس دانسیته نمونه‌ها محاسبه گردید (Sahin & Sumnu, 2006).

رطوبت

رطوبت کیک طبق استاندارد ملی ایران شماره 2553 اندازه‌گیری شد.

بافت

بافت کیک در دو روز متفاوت یعنی 4 و 8 روز پس از تولید و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج اینستران ساخت شرکت ژاو آرای مشهد مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا نمونه‌ها به شکل قطعات مکعب به ابعاد2×2/5×2/5 سانتی‌متر برش داده شدند و سپس توسط یک پروب صفحه‌ای با ابعاد 5×10سانتی‌متر به‌صورت بارگذاری گسترده با سرعت 50 میلی‌متر در دقیقه و به میزان 50 درصد فشرده گردیدند (آقامحمدی و همکاران، 1391).

رنگ

در اکثر موارد در پژوهش‌های صنایع غذایی از فضای رنگی Lab استفاده می‌شود. این سیستم رنگی، عملکرد مشابه چشم انسان دارد و بر خلاف سایر فضاهای رنگی متاثر از وسیله عکس‌برداری نیست. مولفه L معادل روشنایی تصویر است که بین صفر، معادل مشکی و 100 معادل انعکاس کامل نور می‌باشد. مقادیر مولفه a نامحدود است و مقادیر مثبت، معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی، معادل رنگ سبز است. مقادیر b نامحدود است و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی است (ایوبی و همکاران، 1394). برای رنگ‌سنجی نمونه‌های کیک، هم پوسته و هم بافت آنها توسط سیستم رنگ‌سنجی هانترلب مدل TES-135A ساخت کشور ویتنام مورد بررسی قرار گرفت و فاکتورهای L، a و b پوسته و بافت نمونه‌ها به طور جداگانه اندازه‌گیری شد (Celik *et al.*, 2006).

ارزیابی حسی

صفات حسی مورد مطالعه در این پژوهش شامل بافت (سفتی و نرمی به هنگام جویدن)، رنگ پوسته (شدت، شفافیت و کدورت رنگ

ظاهری پوسته کیک)، طعم (میزان درک طعم مطلوب در تست چشایی) و پذیرش کلی (میزان پذیرش محصول با در نظر گرفتن سایر ویژگی‌های حسی) بودند. ارزیابی صفات حسی با مقیاس هدونیک 5 نقطه‌ای (1 بسیاربد، 2 بد، 3 متوسط، 4 خوب و 5 بسیار خوب) توسط 10 آزمونگر صورت گرفت (Obiegbuna *et al.*, 2013).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده در قالب طرح کاملا تصادفی در 3 تکرار و به کمک نرم افزار Mstat-C تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح 5 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

افت وزنی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی شیره خرما افت وزنی به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد ($P \leq 0.01$)؛ به طوری که کمترین مقدار افت وزنی مربوط به نمونه دارای 100 درصد شیره خرما بود (شکل 2). آقامحمدی و همکاران (1391) علت کاهش افت وزنی کیک روغنی با افزایش سطح جایگزینی شکر با ملاس را افزایش میزان قند اینورت و ترکیبات معدنی در فرمولاسیون و تاثیر آنها در حفظ رطوبت و نیز ترکیبات کلوئیدی ملاس و قدرت جذب و قابلیت نگهداری آب بالای این ترکیبات بیان نمودند. Obiegbuna و همکاران (2013) اظهار داشتند که احتمالا به علت افزایش مقدار فیبر خام، پروتئین ، چربی و خاکستر که به راحتی توسط مخمرها قابل تخمیر نیستند و در نتیجه جذب و تثبیت آب و دشوار شدن تبخیر رطوبت با افزایش سطح جایگزینی شکر با آرد پالپ خرما، وزن نان افزایش یافته است.

pH

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تاثیر جایگزینی شکر با شیره خرما بر pH کیک معنی‌دار بود (شکل 3). مقدار pH نمونه‌های دارای شیره خرما به طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود ($P \leq 0.05$). بیشترین مقدار pH مربوط به نمونه شاهد و کمترین مقدار pH مربوط به نمونه‌های دارای 100 درصد شیره خرما بود. همانطور که در بخش مواد و روش‌ها عنوان شد شیره خرما دارای pH اسیدی است و لذا کاهش pH کیک، با افزایش سطح جایگزینی دور از انتظار نیست. نتایج بررسی احمدی گاولیقی و همکاران (1390) نیز بر کاهش pH کیک لایه‌ای با جایگزینی قند مایع خرما دلالت داشته است. قرار داشتن خمیر و قند خرما در محدوده اسیدی توسط Johnson و همکاران (1989) نیز گزارش و تایید شده است.

تخلخل

تاثیر جایگزینی شکر با شیره خرما بر تخلخل کیک معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). جایگزینی شکر با شیره خرما در سطح 25 درصد افزایش تخلخل را به دنبال داشت، اما با افزایش بیشتر سطح جایگزینی از میزان تخلخل کاسته شد؛ به طوری که بیشترین میزان تخلخل مربوط به سطح جایگزینی 25 درصد و کمترین میزان تخلخل مربوط به سطح جایگزینی 100 درصد بود (شکل 4). البته نتایج مقایسه میانگین اختلاف معنی‌داری را بین تخلخل در سطوح جایگزینی 25 و 50 درصد با شاهد نشان نداد. با توجه به اینکه حجم کیک در سطح جایگزینی 25 درصد بیشتر از شاهد بود اما در سطوح بالاتر جایگزینی، حجم کاهش یافت این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد. کاهش تخلخل دونات در سطوح بالای جایگزینی شکر با پوره خرما (75 و 100 درصد) به علت اثر منفی فیبرهای پوره بر حفظ گاز در خمیر توسط شیخزاده و همکاران (1392) گزارش شده است.

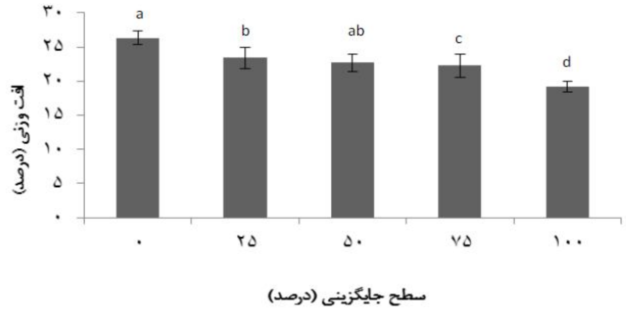
دانسیته

همان طور که در شکل 5 نشان داده شده است افزایش سطح جایگزینی شکر با شیره خرما در سطوح بالاتر از 25 درصد موجب افزایش معنی‌دار دانسیته کیک شده است ($P \leq 0.01$). بیشترین مقدار دانسیته کیک مربوط به سطح جایگزینی 100 درصد و کمترین مقدار دانسیته مربوط به سطح جایگزینی 25 درصد بود.

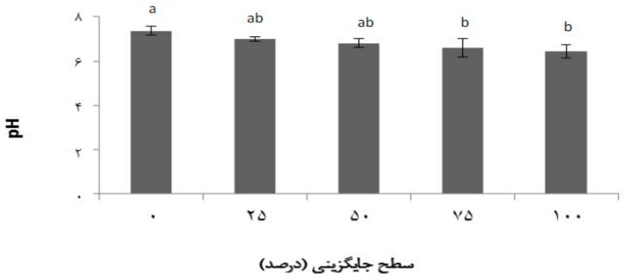
کاهش حجم کیک لایه‌ای با افزایش سطح جایگزینی قند خرما در مطالعات احمدی گاولیقی و همکاران (1390) نیز گزارش شده است. تاثیر قندهای احیاءکننده و احتمالا تغییرات ویسکوزیته و جرم حجمی خمیر می‌تواند علت احتمالی کاهش حجم و درنتیجه افزایش دانسیته با افزایش سطح جایگزینی باشد (احمدی گاولیقی و همکاران، 1390؛ Almana & Mahmoud, 1991). کاهش حجم و حجم مخصوص نان با افزایش سطح جایگزینی شکر با آرد پالپ خرما در نان توسط Obiegbuna و همکاران (2013) گزارش شده است. این محققین قابلیت تخمیر پایین‌تر مخلوط شکر و آرد پالپ خرما برای مخمر و درنتیجه کاهش میزان تولید گاز را علت کاهش حجم نان دانستند.

رطوبت

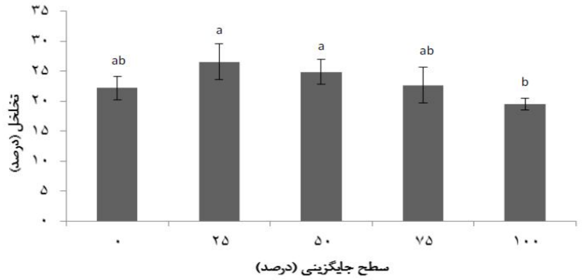
نتایج آنالیز واریانس حاکی از آن بوده است که جایگزینی شکر با شیره خرما افزایش مقدار رطوبت کیک را پس از پخت و در روزهای چهارم و هشتم بعد از نگهداری نسبت به شاهد به دنبال داشته است ($P \leq 0.01$). پس از پخت و بعد از 4 و 8 روز نگهداری شاهد کمترین مقدار رطوبت را داشت و بیشترین مقدار رطوبت مربوط به سطح جایگزینی 100 درصد بود (شکل 6).



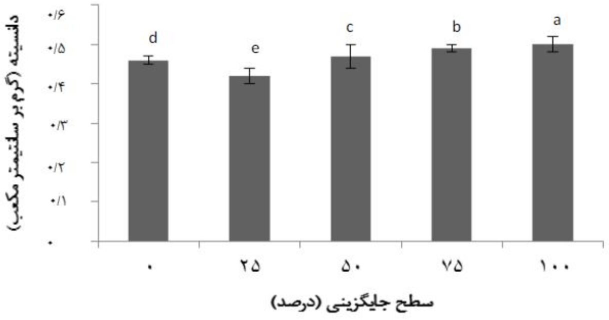
شکل 2- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر افت وزنی کیک



شکل 3- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر pH کیک

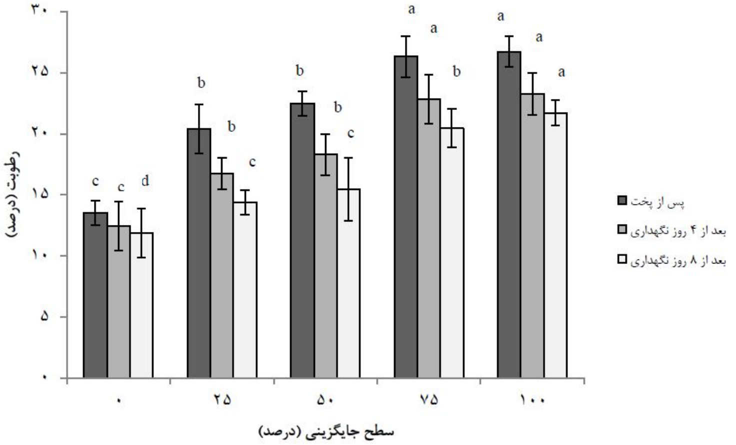


شکل 4- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر تخلخل کیک



شکل 5- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر دانسیته کیک

حضور شکردر فرآورده سبب افزایش دمای ژلاتیناسیون نشاسته و دمای دناتوراسیون پـروتئین شـده و درنتیجـه بـه خـروج رطوبـت از محصول کمک می‌نمایـد (Kocer *et al*., 2006). از طرفـی شـدت تمایل شیرین‌کننده‌ها به جـذب آب بـه انـدازه و وزن مولکـولی آنهـا بستگی دارد. با کاهش وزن مولکولی ساکاریدها تمایل به جـذب آب افزایش می‌یابد. قسمت عمده قند موجـود در شیر ه خرمـا قنـدهای مونوساکاریدی احیاءکننده (گلوکز و فروکتوز) و مقادیر بسـیار کمـی ساکارز می‌باشد. قندها از طریق گروه هیدروکسیل با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی برقرار می‌کنند. با توجه به ساختار مولکولی قنـدهای ساکارز، فروکتوز و گلوکز به‌نظر می‌رسد با افزایش گروه‌هـای عـاملی قندهای شیره خرما نسبت به ساکارز، اتصالات هیدروژنی بیشتر شده و با کاهش تحرک آب آزاد، میـزان رطوبـت کیـک افـزایش مـی‌یابـد (گوهری اردبیلی و همکاران، 1384). نتـایج درصـد رطوبـت درایـن پژوهش رونـد مشـابهی بـا نتـایج تحقیقـات Manisha و همکـاران (2012)، Pareyt و همکاران (2009)، Zoulias و همکـاران (2000)، آقامحمدی و همکاران (1391) و وطن‌خواه و همکـاران (1393) دارد. احمدی گاولیقی و همکاران (1390) افزایش میـزان ترکیبـات جـاذب رطوبت را علت افزایش رطوبت کیک لایه‌ای با افـزایش جـایگزینی میزان قند مایع خرما در کیک بیان نمودند.



شکل 6- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر رطوبت کیک (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر روز از نگهداری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند)

بافت

محصولات صنایع پخت پس از طی فرآیند پخت، متحمـل یـک سری تغییرات فیزیکوشیمیایی شده و اصـطلاحا دچـار پدیـده بیـاتی می‌شوند. بیاتی، کاهش میزان پذیرش محصـولات نـانوایی از طـرف مصرف‌کننده را به دنبال دارد. بیاتی از طریق پدیـده‌هـای فیزیکـی و شیمیایی از قبیل تغییرات در بافت، انتقال آب، کریستالیزاسیون نشاسته (رتروگراداسیون) و برهم‌کنش‌های میان اجزای تشکیل‌دهنده فرآورده قابل تشخیص است. فرآیند بیاتی با ایجاد تغییراتی در ویژگـی‌هـایی نظیر طعم، مـزه، عطـر و قابلیـت جویـدن، منجـر بـه کهنـه شـدن محصولات پخت می‌شود (ناصحی و همکاران، 1388). اثر جایگزینی شیره خرما بر سفتی بافت کیک پس از 4 و 8 روز نگهداری معنـی‌دار بود ($P\leq0.01$). افزایش سطح جایگزینی شیره خرمـا افـزایش سـفتی بافت کیک بعد از 4 و 8 روز نگهداری را بـه دنبـال داشـت. بـه‌نظـر می‌رسد که کاهش حجم و نیز کاهش میزان تخلخل با افزایش سطح جایگزینی علت افزایش و سفتی و تراکم بافت بوده است (آقامحمدی و همکاران، 1391). در شکل 7 اثر سـطوح مختلـف شـیره خرمـا بـر سفتی بافت کیک نشان داده شده است.

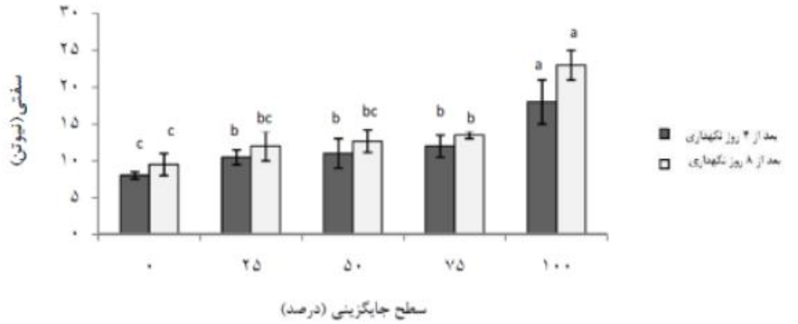
رنگ پوسته کیک

افزایش سطح جایگزینی شـیره خرمـا کـاهش معنـی‌دار روشـنی پوسته کیک را به دنبال داشت ($P\leq0.01$). تاثیر جایگزینی شیره خرما بر قرمزی پوسـته نیـز معنـی‌دار بـود ($P\leq0.01$). بـا افـزایش سـطح جایگزینی شیره خرما تا سطح 75 درصد قرمزی پوسته کیک افزایش یافت اما جایگزنی در سطح 100 درصد کاهش قرمزی پوسته را سبب شد؛ البته نتایج مقایسه میانگین اختلاف معنی‌داری را بین قرمزی در سطوح مختلف جایگزینی شکر با شیره خرما نشان نداد. نتـایج آنـالیز واریانس همچنین نشان داد که اثر جایگزینی شکر با شیره خرمـا بـر زردی پوسته کیک معنی‌دار بود ($P\leq0.01$). با افزایش سطح جایگزینی مقدار زردی پوسته کاهش یافت؛ به طوری که بیشترین زردی مربوط به شاهد و کمترین زردی مربوط به سطح جایگزینی 100 درصد بود. آقامحمدی و همکاران (1391) وجـود ترکیبـات رنگـی در مـلاس و تیرگی آن، وجود قند اینورت و نیز افزایش میـزان واکـنش مـیلارد را

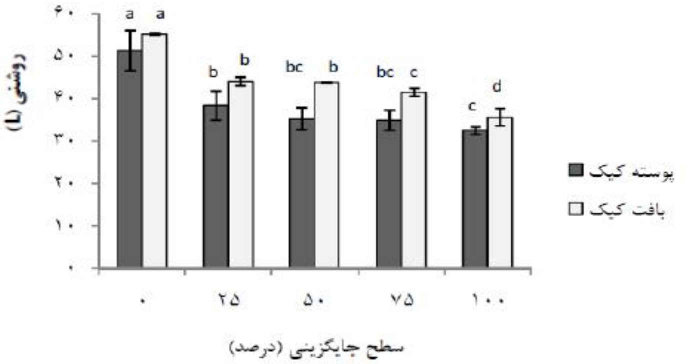
علت کاهش روشنی کیک با جایگزینی ملاس به جای شکر عنوان نمودند. کاهش روشنی و زردی و افزایش قرمزی محصول با افزایش جایگزینی پوره خرما در فرمولاسیون دونات، به دلیل حضور سطوح بالای قندهای احیاکننده گلوکز و فروکتوز در پوره خرما و در نتیجه افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن توسط شیخزاده و همکاران (1392) گزارش شده است. افزایش تیرگی کلوچه با افزایش سطح جایگزینی پودر و شیره خرما توسط Alsenaien و همکاران (2015) نیز گزارش شده است. این محققین افزایش قرمزی و کاهش زردی کلوچه با افزایش سطح جایگزینی شکر با پودر یا شیره خرما را نیز به واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی نسبت دادند. اثر سطوح مختلف شیره خرما بر روشنی، قرمزی و زردی پوسته کیک به‌ترتیب در شکل‌های 8، 9 و 10 نشان داده شده است.

رنگ بافت کیک

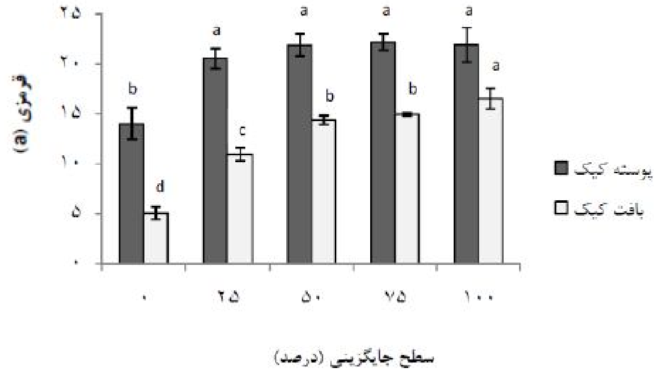
رنگ ماده غذایی به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی ظاهری در درک کیفیت آن مطرح شده است. اغلب مصرف‌کننده، رنگ محصول را با طعم، ایمنی، ماندگاری و خصوصیات تغذیه‌ای آن مربوط می‌سازد (Pedreschi *et al.*, 2006). شکل 8 اثر جایگزینی شکر با شیره خرما را بر روشنی بافت کیک نشان می‌دهد. جایگزینی شکر با شیره خرما روشنی بافت کیک را به‌طور معنی‌داری کاهش داشت ($P\leq0.01$). نتایج آنالیز واریانس نشان‌دهنده افزایش قرمزی خرما با افزایش سطح جایگزینی شیره خرما بود ($P\leq0.01$) به‌طوری که بیشترین قرمزی مربوط به سطح جایگزینی 100 درصد و کمترین قرمزی بافت کیک، مربوط به شاهد بود (شکل 9). همانطور که در شکل 10 نشان داده شده است تاثیر جایگزینی شکر با شیره خرما بر زردی بافت کیک معنی‌دار بوده است ($P\leq0.01$). اگرچه زردی بافت کیک در همه سطوح جایگزینی شیره خرما بیشتر از شاهد بود اما جایگزینی تا سطح 50 درصد افزایش زردی بافت کیک را به دنبال داشت و افزایش بیشتر سطح جایگزینی موجب کاهش زردی بافت کیک شد. احمدی گاولیقی و همکاران (1390) انجام واکنش قهوه‌ای شدن در مجاورت قندهای ساده تشکیل‌دهنده خرما و همچنین میزان رنگ موجود در خمیر خرما را علت کاهش روشنی کیک با افزایش سطح جایگزینی قند مایع خرما بیان نمودند. نتایج این محققین همچنین نشان داد که جایگزینی قند مایع خرما در سطح 50 درصد زردی کیک را نسبت به شاهد افزایش داد، اما زردی در سطح جایگزینی 100 درصد با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت.



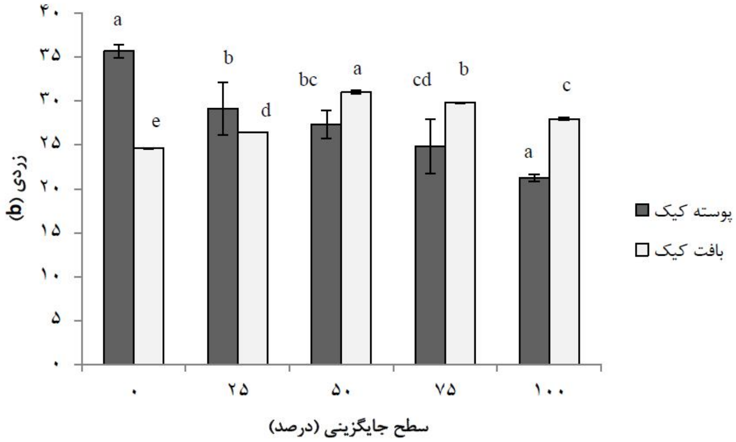
شکل 7- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر سفتی بافت کیک (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر روز از نگهداری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل 8- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر روشنی (L) (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر قسمت از ساختمان کیک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل 9- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر قرمزی (a) (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر قسمت از ساختمان کیک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل 10- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر زردی (b) (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر قسمت از ساختمان کیک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند)

ارزیابی حسی

رنگ پوسته

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی شیره خرما امتیاز رنگ پوسته کاهش یافت ($P\leq0.01$). البته لازم به ذکر است که اختلاف امتیاز رنگ پوسته در سطوح جایگزینی 25 و 50 درصد با شاهد معنی‌دار نبود (جدول 4). با توجه به تیرگی رنگ شیره خرما و نیز بروز واکنش‌های قهوه‌ای شدن در مجاورت قندهای احیاکننده گلوکز و فروکتوز در شیره خرما، کاهش امتیاز رنگ پوسته کیک با افزایش سطح جایگزینی شیره خرما دور از انتظار نیست. کاهش امتیاز رنگ کیک با افزایش میزان قند مایع خرما توسط احمدی گاولیقی و همکاران (1390) و کاهش امتیاز رنگ پوسته نان با افزایش سطح جایگزینی شکر با آرد پالپ خرما توسط Obiegbuna و همکاران (2013) نیز گزارش شده است.

بافت

بر اساس نتایج آنالیز واریانس امتیاز بافت کیک تا سطح جایگزینی 50 درصد اختلاف معنی‌داری را با نمونه شاهد نشان نداد، اما در سطوح بالاتر شیره خرما، از امتیاز بافت کیک به طور معنی‌داری کاسته شد ($P\leq0.01$) (جدول 4). با توجه به کاهش حجم و تخلخل بافت، افزایش فشردگی محصول با افزایش مقدار شیره خرما می‌تواند علت این کاهش باشد. این نتیجه با نتایج مطالعات احمدی گاولیقی و همکاران (1390) و Alsenaien و همکاران (2015) مطابقت دارد.

طعم

نتیجه آزمون طعم نشان داد که با افزایش مقدار شیره خرما امتیاز طعم کیک کاهش یافت ($P\leq0.01$). این نتیجه با نتایج بررسی Alsenaien و همکاران (2015) مطابقت دارد. کاهش شیرینی و در نتیجه کاهش امتیاز طعم کیک با افزایش سطح جایگزینی قند مایع

خرما در کیک توسط احمدی گاولیقی و همکاران (1390) نیز گزارش شده است. اثر سطوح مختلف شیره خرما بر امتیاز طعم در جدول 4 نشان داده شده است.

جدول 4- اثر سطوح مختلف شیره خرما بر بر امتیازات رنگ ، بافت، طعم و پذیرش کلی

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند)

سطح جایگزینی	امتیاز رنگ پوسته	امتیاز بافت	امتیاز طعم	امتیاز پذیرش کلی
0	4/5a	4/4a	4/5a	4/5a
25	4/3ab	4/3ab	4/4a	4/3ab
50	4/2ab	4/2ab	4/2ab	4/2ab
75	3/8bc	3/9bc	3/9ab	3/9bc
100	3/6c	3/6c	3/6b	3/6c

پذیرش کلی

مطالعه نتایج صفات حسی، جهت بررسی پذیرش کلی نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی شیره خرما امتیاز پـذیرش کلـی کیـک کاهش یافت؛ البته ایـن کـاهش تنهـا در سـطوح 75 و 100 درصـد جایگزینی با شاهد معنی‌دار بود ($P\leq0.01$) (جدول 4). نتـایج بررسـی احمدی گاولیقی و همکاران (1390) نیز بر کاهش امتیاز پذیرش کلی کیک با افزایش میزان قند مایع خرما در کیک دلالت داشته است. در بررسی Alsenaien و همکاران (2015) بر روی جایگزینی شـکر بـا پودر و شیره خرما در کلوچه نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

علی‌رغم فواید ساکارز به‌عنـوان یـک شـیرین‌کننـده طبیعـی بـا ویژگی‌های عملکردی مطلوب، به دلیل ارتباط با مشکلاتی نظیر فشار خون، بیماری‌های قلبی، فساد دندان، چاقی و افزایش سطح گلوکز و انسولین خون که به‌ویژه برای دیابتی‌ها مضر است، کاهش میزان این ترکیب در رژیم غذایی به بهبود وضعیت سلامتی کمک می‌کنـد. بـا توجه به اینکه نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از شیره خرما به‌عنوان جایگزین شکر در کیک فنجانی تـا سـطح 50 درصـد تـاثیر نامطلوب چندانی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی این نوع کیک نداشته و خـواص حسـی محصـول را نیـز حفـظ مـی‌کنـد، اسـتفاده از ایـن شیرین‌کننده طبیعی بـه‌عنـوان جـایگزین شـکر در تولیـد ایـن نـوع محصولات به تولیدکنندگان پیشنهاد می‌شود.

منابع

Aghamohammadi, B., Ghiassi Tarzi, B., Honarvar, M. & Delkhosh, B., 2013. The effects of using molasses as a replacement for sugar on physicochemical and sensory properties of shortened cake. *Journal of Food Science and Technology* , 2, 37-45.

Ahmadi Ghavlighy, H., Azizi, M. H., Jahanian, L. & Amirkaveei, S., 2011. Evaluation of replacement of date liquid sugar as a replacement for invert syrup in a layer cake. *Journal of Food Science and Technology*, 8(1), 57-64.

Al-Farsi, M. A., 2003. Clarification of date juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 38(3), 241-245.

Almana, H. A. & Mahmoud, R. M., 1991. Effect of date syrup on starch gelatinization and quality of layer cakes. *Journal of Cereal Chemistry*, 36, 1010-1012.

Alsenaien, .W. A.. Alamer, R., Zhen-Xing Tang, A., Albahrani, S.A., Al-Ghannam, M. A. & Aleid. S. M., 2015. Substitution of Sugar with Dates Powder and Dates Syrup in Cookies Making. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 8(1), 8-13.

Asghar, A., Anjum, F. M., Butt, M. S. & Hussain, S. 2006. Functionality of different surfactants and ingredients in frozen dough. *Turkish Journal of Biology*, 30, 243- 250.

Ayoubi, A., Sedaghat, N., Kashaninejad, M., Mohebbi, M. & Nassiri Mahalati5, M., 2015. Effect of lipid based edible coatings on physicochemical and microbial properties of raisin. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 11(5), 496-507.

Bakr, A. A., 1997. Production of iron-fortified bread employing some selected natural iron sources. *Nahrung*, 41, 293-298.

Celik, I., Yýlmaz, Y., Isýk, F. & Ustun, O., 2006. Effect of soapwort extract on physical and sensoryproperties of sponge cakes and rheologicalproperties of sponge cake batters. *Food Chemistry.*

Chase, H. P., 1979. Diabetes and diet. Food Technology, 33, 60-64.
Frye, A. M. & Setser, C. S., 1992. Optimizing texture of reduced-calorie yellow layer cakes. *Cereal Chemistry*, 69, 338-343.
Gohari Ardebily, A., Habibi Najafi, M. B. & Haddad Khodaparast, M. H., 2005. Study effect of sugar substitution with date syrup on physical and sensorial properties of soft ice cream. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 1(2), 23-32.
Institute of Standard and Industrial Research of Iran., 2007. Cake – Specification and test methods. ISIRI Number 2553.
Jain, S. M., 2012. Date palm biotechnology: Current status and prospective – an overview. Emirates *Journal of Food and Agriculture*, 24, 386-399.
Johnson, J. M. & Harris, C. H., 1989. Effect of acidulants in controlling browning in cakes prepared with 100% high-fructose corn syrup or sucrose. *Cereal Chemistry*, 66 (3), 158 -161.
Johnson. J. M., Harris. C. H. & Bardeau. W. E., 1989. Effect of high fructose corn syrup replacement for sucrose on browning, starch gelatinization and sensory characteristics of cakes. *Cereal Chemistry*, 66, 155-157.
Johnson, R. K. & Yon, B. A., 2010. Weighing in on added sugars and health. *Journal of the American Dietetic Association*, 110,1296-1299.
Khaled, H. & Abu, E., 2000. Effect of date extract on adhesion of candida species to human buccal epithelial cell in vitro. *Journalof Oral Pathology and Medicine*, 29, 200- 205.
Kocer, D., Hicsasmaz, Z., Bayindirli, A. & Katnas, S. A., 2006. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. *Journal of Food Engineering*, 78, 953-964.
Lin, S. D., Hwang, C. F. & Yeh, C. H., 2003. Physical and sensory characteristics of chiffon cake prepared with erythritol as replacement for sucrose. *Journal of Food Science*, 68, 2107-10.
Manickavasagan, A., Mathew, T. A., Al-Attabi, Z. H. & Al-Zakwani, I. M., 2013. Dates as a substitute for added sugar in traditional foods – A case study with idli. *Food Agriculture*, 25 (11), 899-906.
Manisha, G., Soumya, C. & Indrani, D., 2012. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloid and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. *Food Hydrocolloids*, 29, 363-373.
Nasehi, B., Azizi, M. H. & Hadian, Z., 2009. Different approaches for determination of bread staling. *Journal of Food Science and Technology*, 6(1), 53-63.
Nobors, L., 2002. Sweet choices: sugar replacements for foods and beverages. Food Technology, 56, 28-35.
Obiegbuna, J. E., Akubor, P .I., Ishiwu, C. N. & Ndife, J., 2013. Effect of substituting sugar with date palm pulp meal on the physicochemical, organoleptic and storage properties of bread . *African Journal of Food Science*, 7 (6), 113-119.
Pareyt, B., Talhaoui, F., Kerckhofs, G., Brijs, K., Goesaert, H., Wevers, M., & Delcour, J. A., 2009. The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties. *Journal of Food Engineering*, 90: 400-408.
Pedreschi, F., Leo´n, J., Mery, D. & Moyano, P., 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*, 39, 1092- 1098.
Rosental, A. J., 1995, Application of aged egg in enabling increased substitution of sucrose by Littese (polydextrose) on high ratio cakes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68, 127-31.
Sahin, S. & Sumnu, S. G., 2006. Physical Properties of Foods. *Springer Science Business Media* LLC, New York, 19–21.
Shafiee, S., Hojjatoleslami, M., Shokrani, R., Sharifan, A. & Loghmani Khoozani, V., 2013. Study effect of date syrup purification different methods on the candy physical and chemical particularity. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(1), 63-70.
Sheikhzadeh, V., Haddad Khodaparast, M. H. & Ataye Salehi, A., 2013. Effect of sugar substitution with date palm puree on crumb color and porosity of fried doughnuts by image processing. 21st National Congress on Food Science and Technology. Shiraz, Iran.
Sidhu, J. S., Al-saqer, J. M., Al-hooti, S. & Alothman, A., 2003, Quality of pan bread made by replacing sucrose with datesyrup produced by using pectinase/cellulase enzymes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1–8.
Simurina, O. & Filipčev, B., 2006, Sugar beet molasses as an ingredient in tea-cookie formulations, PTEP (*Serbia and Montenegro*), 10, 16-21.
Turabi, E., Sumnu, G. & Sahin, S., 2010. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums bake in different ovens. *Food Hydrocolloids*, 24, 755-762.
Vatankhah, M., Elhami Rad, A. H., Yaghbani, M., Nadian, N. & Akbarian Meymand, M. J., 2014. Study of possibility low calorie biscuit production by using stevioside Sweetener. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 3(2), 157-170.
Zoulias, E. L., Piknis, S. & Oreopoulou, V., 2000. Effect of sugar replacement by polyols and acesulfame-K on properties of low-fat cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 2049-2056.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 808-819

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 819-808

Substituting sugar with date syrup in cupcake

A. Ayoubi[1]*, M. Porabolghasem[2]

Received: 2016.05.06
Accepted: 2016.09.10

Introduction: Increased intake of calorie and decreasing physical activity might increase the risks for cancer, obesity, cardiovascular diseases, diabetes mellitus and hypertension. Using natural sweeteners instead of sugar in food formulations can be a good method to reduce the calorie intake. World Health Organization recommends limiting added sugar intake to <10% of total energy. Many sugar substitutes were used in food products such as glucose syrup, molasses, fructose syrup, invert syrup and malt extract. Utilization of fruits in food preparation while requiring sweet taste is a wise strategy to reduce the added sugar intake. Dates are ideal fruits to substitute added sugar in foods, and they play an important role in daily nutrition of many people in the arid regions. Date fruits are rich in dietary fiber, phenolic compounds, minerals, vitamins, antioxidant and antimutagenic compounds. Date syrup that produces from date is one of the suitable replacements that can be used for substituting sugar. Date syrup is a high energy food rich in carbohydrate, a good source of minerals; but it is also contains a very complex mixture amino and organic acids, polyphenols and carotenoids. Date syrup contains fructose, glucose and small amount of sucrose. Low quality date cultivation occupies about 60% of the total plantation. These dates are poor in size and taste, unsuitable for consumption. The presence of high sugar content in these low quality varieties makes them suitable for producing date syrup. The purpose of this research was study the effects of substituting sugar with date syrup on physicochemical and sensory properties of cupcake.

Materials and methods: Date syrup purchase from Dambaz Company and wheat flour purchase from Tavakkol factory of Kerman. Other materials purchased from local market of Kerman. In this research four different level of date syrup (25, 50, 75 and 100%) were used in cake formulations as a sugar substitution and the effects of dates syrup on the physicochemical (including weight loss, pH, porosity, density, moisture, hardness of texture and color of crust and crump) and sensory (texture, crust color, taste and total acceptance) properties of cupcake were studied. The weight loss calculated by measuring difference of weight before and after baking. pH was measured by a digital pH meter. cake moisture content was determined by drying samples at 130±2°C in a hot air oven. The volumes of the cake samples were measured by the seed displacement method and then density was calculated by dividing the volume by the weight. For evaluation of porosity used Image j method. Hardness of the cake samples were measured with Instron testing machine. Color measurements were done using a Hunterlab Colorimeter. Analysis of variance (ANOVA) was conducted for data using MSTAT-C software. Differences among the mean values were also determined using Duncan's Multiple Range test. A significant level was defined as a probability of 0.05.

Results & Discussion: Data analysis showed that the date syrup, significantly affected the physiochemical and sensory properties of the cake. It was discovered that by increasing the percentage of date syrup in cake formulation, weight loss decreased and moisture increased. Sugars make hydrogen bonds with water molecules due to their hydroxyl groups, because of the molecular structure of the sugars like sucrose, fructose and glucose, it seems that increasing functional groups in date syrup sugars compared with sucrose, resulted in the formation of more hydrogen bonds, which caused the reduction in the mobility of free water and therefore make an increase in moisture of cake. According to the results, pH and porosity of the cake decreased as the date syrup level increased. The results showed that increasing date syrup level caused an increase in density. By decreasing the volume of cake density increased. The volume probability decreased because of affecting reduced sugars and changing viscosity and density of the cake batter. Based on the results, hardness increased significantly with increasing replacement of sugar with date syrup. The possible reason for this result was due to decreasing volume and porosity of cake with increasing date syrup content. The color of the cake is due to the Maillard and caramelization reactions during baking. A key element in Maillard reaction is reducing sugar which is abundant in date syrup and able to enhance the brown color. The results showed that the crust and crump

1. Assistant professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran.
2. Former M.Sc. student of Mechanical Engineering of biosystem, Shahid Bahonar university of Kerman.
(*-Corresponding Author Email: mayoubi92@uk.ac.ir)

lightness (L) decreased significantly with increasing the levels of date syrup. The crust and crump yellowness (b) were significantly less than control. With reducing sucrose level, the redness of the crust and crump increased significantly. According to sensory evaluation results, scores of crust color, texture and total acceptance of the cake remained unchanged when up To 50% date syrup was used. However, further addition of date syrup significantly reduced these scores. The results showed that the cake formulation with 100% date syrup date obtained the lowest score by panelists in terms of taste. Least value of weight loss (19/2%), porosity (19/5%) and most value of density (0/5 g/cm^3), darkness of crust (32/47) and crump of cake (35/64) were related to substitution level of 100%. Present study demonstrated that the date syrup could replace up to 50% of the sugar without affecting the quality of cupcakes.

Keywords: Color, Cupcake, Date syrup, Hardness, Porosity.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 820-829

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 829-820

بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی کنسانتره آب انار رقم رباب طی دوره نگهداری در دماهای مختلف

مریم فرهمند [1]- محمدتقی گلمکانی [2*]- عسگر فرحناکی [3]- غلامرضا مصباحی [4]

تاریخ دریافت: 1395/02/06
تاریخ پذیرش: 1395/06/20

چکیده

کنسانتره صنعتی آب انار رقم رباب به مدت 20 هفته در دماهای 20- ،4، 20 و 35 درجه سلسیوس نگهداری و شاخص‌های شکل‌گیری کدورت ثانویه، رنگ (L*a*b*)، خصوصیات رئولوژیکی، ترکیبات زیست‌فعال (ترکیبات فنولی و فلاوونوئیدی کل) و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی (روش‌های DPPH و FRAP) برای تعیین بهترین شرایط نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های نگهداری‌شده در دمای 35 درجه سیلسیوس در 4 هفته آخر دوره نگهداری دارای کدورت ثانویه بودند. اگرچه نمونه‌های شاهد رفتار رقیق‌شونده با برش داشتند، اما پس از دوره نگهداری رفتار غلیظ‌شونده با برش از خود نشان دادند. بین ارزش L* بین نمونه‌ها نگهداری‌شده در دماهای 20-، 4و 20 درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. ارزش a* و b* نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای 20- و 4 درجه سلسیوس به مدت 14 هفته روند کاهشی مشابهی را نشان دادند. میزان محتوای فنولی و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی (هر دو روش DPPH و FRAP) با افزایش دما و مدت زمان نگهداری کاهش یافتند اما ترکیبات فلاونوئیدی با افزایش دما و زمان نگهداری به شکل معنی‌داری افزایش یافتند. به‌طورکلی، دمای 4 درجه سلسیوس به مدت 14 هفته، بهترین شرایط دمای نگهداری برای حفظ کیفیت و کاهش هزینه‌های نگهداری محصول می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، ترکیبات زیست‌فعال، خصوصیات رئولوژیکی، کنسانتره انار

مقدمه

انار با نام علمی *پونیکا گرانـاتوم* [4] میـوه‌ای متعلـق بـه خـانواده پونیکاسه [5] است که در نقاط مختلف دنیا مانند ایران، کالیفرنیا، ترکیه، مصر، ایتالیا، هند و اسپانیا کشت می‌شود. ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان و صادرکنندگان انار در دنیا به‌شمار می‌رود (Bazargani-Gilani *et al.*, 2014). مرکز بین‌المللی تجارت، میزان برداشت انار ایران در سال 2014 را 940 هزار تن در سال گزارش کرده است (ITC 2015). میزان مصرف انار در سال‌های اخیر افزایش یافته است که این مهم می‌تواند به دلیل افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان از خصوصیات تغذیه‌ای انار باشد (Fischer *et al.*, 2011). میوه انار حاوی ترکیبات با ارزشی با خصوصیات دارویی و درمانی (آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی، ضدتصلب شریانی و غیره) است. این ویژگی‌های تغذیه‌ای ارزشمند بیشتر مربوط به حضور ترکیبات فنولی مانند آنتوسیانین‌ها، الاژیک‌اسید، فلاوونوئیدها و تانن‌ها می‌باشد (Mousavinejad *et al.*, 2009).

نگهداری مواد غذایی مانند غذاهای کنسرو شده، منجمد شده، آبمیوه‌ها و تغلیظ شده‌ها (کنسانتره‌ها) می‌تواند کیفیت و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آنها را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، نگهداری می‌تواند باعث تخریب و تغییر در رنگدانه‌ها و در نتیجه رنگ موجود در مواد غذایی شود. Burdurlu and Karadeniz (2003) تغییرات شاخص‌های رنگی کنسانتره دو واریته مختلف سیب در طول 4 ماه نگهداری در دماهای 5، 20 و 37 درجه سلسیوس مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده بیانگر آن بود که طی دوره نگهداری در دماهای مختلف شاخص‌های رنگ کاهش یافتند (Burdurlu and Karadeniz, 2003). Van der Sluis و همکاران (2005) ترکیبات زیست‌فعال و آنتی اکسیدانی موجود در آبمیوه‌ها طی دوره نگهداری تحت تأثیر عوامل خارجی قرار دارند و مشاهده کردند که میزان ترکیبات فنولی آب سیب صنعتی بعد از 11 ماه نگهداری در دمای اتاق به شکل چشمگیری کاهش یافت (Van der Sluis *et*

1، 2 و 4- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز.
3- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز و دانشکده علوم بیومدیکال دانشگاه چارلز استورت استرالیا.
(* - نویسنده مسئول: Email: golmakani@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55415
4 *Punic granatum* L.
5 Punicaceae

al., 2005). Ozturk و همکاران (2016) میزان ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی موجود در میوه گیلاس را پس از دوره نگهداری (3 هفته در دمای 2 درجه سلسیوس) مورد ارزیابی قرار دادند و کاهش معنی داری در میزان این ترکیبات زیست‌فعال مشاهده نمودند (Ozturk *et al*., 2016). همچنین، Klimczak و همکاران (2007) تأثیر دما و زمان نگهداری را بر ترکیبات فنولی و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی دو واریته مختلف آب پرتقال صنعتی مورد مطالعه قرار داده و مشاهده کردند که پس از 6 ماه نگهداری در دماهای 18، 28و 38 درجه سلسیوس ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی اندازه‌گیری شده به دو روش DPPH[1] و FRAP[2] به شکل معنی داری کاهش یافتند (Klimczak *et al*., 2007).

بررسی خصوصیات رئولوژیکی فراورده‌های آبمیوه به‌منظور توسعه صنعت، طراحی و ارزیابی تجهیزات فراوری مانند پمپ‌ها، لوله‌ها و غیره ضروری می‌باشد (Bozdogan., 2015). شاخص‌های مختلفی خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این شاخص‌ها می‌توانند عواملی نظیر میزان مواد جامد محلول، دمای فرایند، دما، غلظت و سایز ذرات تشکیل دهنده باشند(Ahmed *et al*., 2004). تغییر این شاخص‌ها طی دوره نگهداری موجب تغییر در خصوصیات رئولوژیکی محصول خواهد گردید. کنسانتره آب انار کاملاً حساس به شرایط نگهداری بوده که این امر می‌تواند منجر به کاهش کیفیت محصول و کاهش پذیرش مصرف‌کنندگان شود. از این رو این محصول غالباً در دمای 18- درجه سلسیوس (منجمد) نگهداری می‌گردد. نگهداری در این دما هزینه‌های فراوانی به تولیدکنندگان تحمیل می‌کند.

هدف از این مطالعه ارزیابی 1- تخریب رنگ ظاهری، 2- تغییر خصوصیات رئولوژیکی، 3- پایداری ترکیبات زیست‌فعال، 4- خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و 5- شکل‌گیری کدورت ثانویه کنسانتره صنعتی آب انار طی دوره نگهداری در دماهای مختلف به‌منظور مشخص کردن بهترین شرایط نگهداری برای جلوگیری از افت کیفیت و حل مشکلات مربوط به هزینه‌های بالای نگهداری به‌صورت منجمد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها و شرایط نگهداری

کنسانتره آب انار (*Punica granatum* L. cv. Rabab) مورد استفاده در این پژوهش از کارخانه نارنی (مزرعه سبز) تهیه گردید. انار ورودی کارخانه از روستای رودخور واقع در 100 کیلومتری شهر نیریز (استان فارس، ایران) در اواخر مهر ماه برداشت شد. کنسانتره آب انار برای انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی در 5 دمای مختلف قرار گرفتند. نمونه‌ها در فریزر (General Electric, USA) 20- درجه سلسیوس، اینکوباتورهای یخچال‌دار (Sanyo Electric Co., Japan) 4 درجه سلسیوس، اینکوباتورهای 20 و 35 درجه سلسیوس (Parsian Teb Co., Iran) و همچنین در فریزر (Jal Tajhiz Co., Iran) 80- درجه سلسیوس به‌عنوان شاهد قرار گرفتند. آزمایشات به‌صورت هفتگی و هرکدام در سه تکرار به مدت 20 هفته انجام شد.

معرف فولین سیوکالتیو و 2 و 2- دی فنیل 1- پیکروهیدرازیل (DPPH) از شرکت سیگما آلدریچ (St. Louis, MO, USA) و بقیه مواد شیمیایی از شرکت مرک (Darmstadt, Germany) خریداری شدند.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی

مواد جامد محلول (TSS) کنسانتره آب انار با استفاده از رفراکتومتر دیجیتال (Carl Zeiss, Germany) در 21 درجه سلسیوس و مواد جامد نامحلول با استفاده از سانتریفوژ (Froilabo, SW14R, France) با سرعت بالا (5000 × g) اندازه‌گیری و نتایج برحسب گرم ماده جامد نامحلول در 100 گرم نمونه محاسبه شد (Ibarz *et al*,. 2011). تشکیل کدورت ثانویه در نمونه‌های 10 بار رقیق‌شده (6/5 درجه بریکس) با استفاده از روش ته‌نشینی در لوله شیشه‌ای به مدت سه ساعت در دمای اتاق مورد بررسی قرار گرفت.

pH، اسیدیته، دانسیته، رطوبت، محتوای خاکستر، پروتئین و چربی کنسانتره بر اساس روش‌های مورد استفاده Horwitz و Albert (2006) اندازه‌گیری شدند (Horwitz and Albert., 2006).

اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ نمونه‌های کنسانتره پس از ده بار رقیق‌سازی با استفاده از هانترلب (CHROMA METER CR-400/410, KONICA MINOLTA, Japan) انجام شد و ارزش*L (روشنایی/ تاریکی)، ارزش*a (قرمزی/ سبزی)، ارزش*b (زرد/ آبی) نمونه‌ها پس از رقیق‌سازی تا 6/5 درجه بریکس، مورد بررسی قرار گرفت.

خصوصیات رئولوژیکی

خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌های کنسانتره نگهداری‌شده در دماهای مختلف (80-، 20-، 20 و 35 درجه سلسیوس) با تزریق 0/5 میلی‌لیتر از نمونه‌ها در ویسکومتر چرخشی صفحه‌ای و مخروطی بروکفیلد مجهز به سیستم کنترل دما (DVII pro Brook field, USA) و اسپیندل CP51 در دمای ثابت 25 درجه سلسیوس در سرعت‌های برشی 0/5 تا 200 (برثانیه) بر اساس روش Cárdenas و همکاران (1997) مورد بررسی قرار گرفت (Cárdenas *et al*., 1997).

1 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
2 Ferrous ion reducing antioxidant power

میزان فنول کل

میزان فنول کل کنسانتره آب انار پس از رساندن به درجه بریکس 12 بر اساس روش رنگ‌سنجی فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. یک‌دهم میلی‌لیتر از نمونه با 75 /0 میلی‌لیتراز محلول فولین سیوکالتیو (ده بار رقیق شده با آب دیونیزه) و 0/75 میلی لیتر محلول سدیم کربنات 2% مخلوط و پس از 60 دقیقه گرمخانه‌گذاری در دمای اتاق، میزان جذب در 765 نانومتر اندازه‌گیری شد. از گالیک اسید در غلظت‌های 50 ، 100و 500 میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌عنوان استاندارد ترکیبات فنولی استفاده قرار گردید (Sun *et al*., 2007).

میزان فلاوونوئید کل

میزان فلاوونوئید کل کنسانتره آب انار پس از رساندن به درجه بریکس 12 با استفاده از روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید مورد بررسی قرار گرفت. یک میلی‌لیتر از نمونه با 0/1 میلی‌لیتر محلول آلومینیوم کلراید 10% و 0/1 میلی‌لیتر پتاسیم استات یک مولار مخلوط شد. بعد از نیم ساعت گرمخانه‌گذاری در دمای اتاق، 2/8 میلی‌لیتر آب دیونیزه اضافه و جذب نمونه‌ها در 415 نانومتر اندازه‌گیری شد. از کوئرسیتین در غلظت‌های 6/25، 12/5، 25، 50 میکروگرم بر میلی‌لیتر به عنوان استاندارد ترکیبات فلاوونوئیدی استفاده شد (Chang *et al*. 2002).

فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد

فعالیت مهارکنندگی کنسانتره آب انار پس از رساندن به درجه بریکس 12 با استفاده از رادیکال آزاد DPPH ($DPPH^o$) اندازه‌گیری شد. یک میلی‌لیتر محلول متانولی نمونه در غلظت‌های 1، 10، 100، 1000 میکروگرم بر میلی‌لیتر متانول به 19 میلی‌لیتر محلول متانولی 0/1 میلی مولار $DPPH^o$ اضافه و به مدت 60 دقیقه در تاریکی نگهداری‌شد. سپس جذب نمونه‌ها در 517 نانومتر در برابر نمونه شاهد خوانده شد. درصد بازدارندگی $DPPH^o$ (I%) بر اساس رابطه 1 اندازه‌گیری شد.

$$\text{درصد بازدارندگی} = ((A_c - A_S) / A_c) \times 100 \qquad (1)$$

در این رابطه A_S جذب نمونه شاهد (شامل همه واکنش‌گرها به‌جز نمونه) و A_c جذب نمونه‌ها پس از 60 دقیقه می‌باشد. IC_{50} نمونه‌ها (غلظتی از نمونه که قابلیت مهار50 درصد از $DPPH^o$ را داشته باشد) از معادله به‌دست آمده از نمودار درصد بازدارندگی محاسبه شد (Mazidi *et al*., 2012).

قدرت احیاکنندگی یون آهن

قدرت احیاکنندگی یون آهن (FRAP) کنسانتره آب انار پس از رساندن به درجه بریکس 12 با استفاده از روش رنگ‌سنجی تعیین گردید. یک میلی‌لیتر از نمونه‌ها با 2/5 میلی‌لیتر بافرفسفات (0/2 مولار با pH6/6) و 2/5 میلی‌لیتر پتاسیم فری سیانید (1%) مخلوط و به مدت 20 دقیقه در دمای 50 درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری گردید. سپس، 2/5 میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید (10%) به مخلوط اضافه و به مدت 10 دقیقه همزده شد در ادامه، 2/5 میلی‌لیتر آب مقطر و 0/5 میلی‌لیتر آهن کلرید (0/1%) به مخلوط اضافه و جذب نمونه‌ها در 700 نانومتر خوانده شد. از ویتامین C در غلظت‌های 1، 10، 100، 1000 میکروگرم بر میلی‌لیتر به عنوان استاندارد استفاده شد (Fawole & Opara , 2013).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمایشات پژوهش در 3 تکرار انجام شدند. نتایج حاصل در قالب طرح آزمایش فاکتوریل با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به‌منظور مقایسه میانگین‌ها در آزمون‌های مربوط به تعیین مواد زیست‌فعال و آنتی‌اکسیدانی از آزمون دانکن در سطح احتمال $P<0/05$ استفاده گردید. رسم منحنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2013 انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیبات کنسانتره آب انار

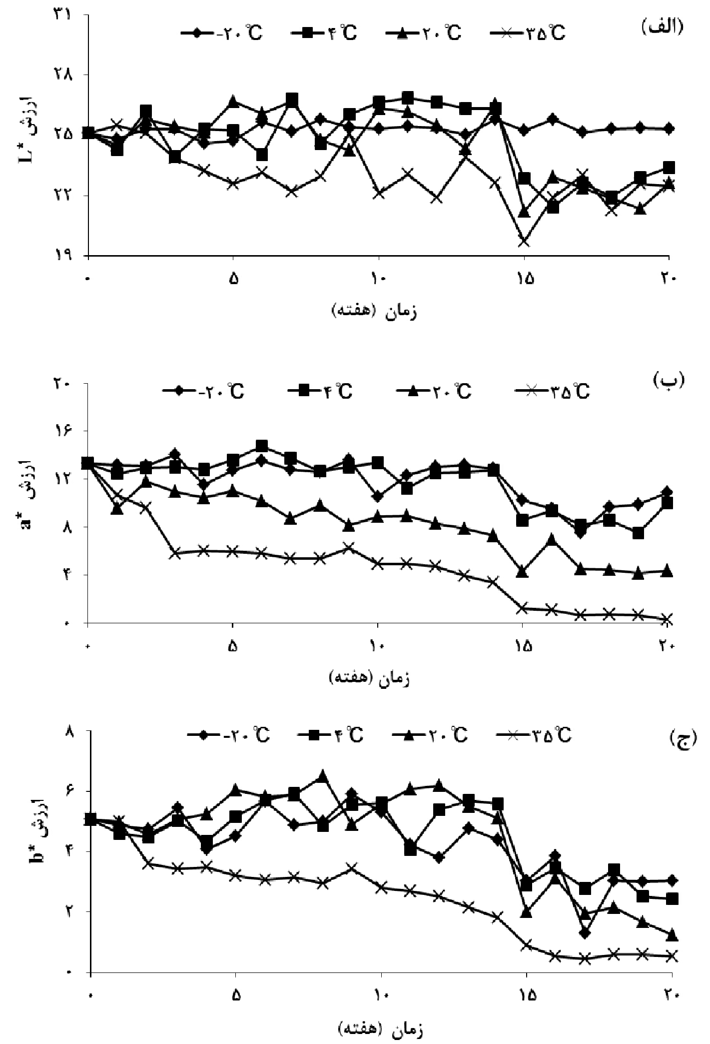
نتایج حاصل از بررسی ترکیبات کنسانتره آب انار در جدول 1 آورده شده است. نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات Kaya & Sözer بر روی کنسانتره آب انار ترش در مقادیر ترکیباتی نظیر pH ، اسیدیته کل و درصد موادجامد محلول همخوانی دارد (Kaya & Sözer, 2005).

جدول 1- شاخص‌های فیزیکوشیمیایی کنسانتره آب انار

شاخص	مقدار
میزان مواد جامدمحلول (درجه بریکس)	65±0/0
مواد جامد نامحلول (درصد)	0/0±0/0
پروتئین کل (درصد)	1/9±0/14
محتوای رطوبت (درصد)	34/2±0/28
محتوای خاکستر (درصد)	1/85±0/21
چربی کل (درصد)	1/11±0/13
کربوهیدرات (درصد)	60/9±0/27
pH	2/8±0/04
دانسیته (گرم بر سانتیمتر مکعب)	1/34±0/0
اسیدیته (درصد اسید سیتریک)	6/3±0/0

بررسی شاخص‌های رنگ (L*a*b*)

همانطور که در شکل 1- الف مشاهده می‌شود اگرچه تـا انتهـای هفته 14، تفاوت معنی‌داری بین ارزش*L نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای 20- ، 4 و20 درجه سلسیوس مشاهده نشد (شکل 1- الف)، اما در مورد نمونه‌های نگهداری‌شده در دمای 35 درجه سلسـیوس از هفته اول شروع نگهداری روند این کاهشی بود. شـاخص *L نمونـه نگهداری شده در دمای 35 درجه سلسیوس طی 20 هفته نگهـداری، 11 درصد کاهش یافت. مشـابه یافتـه‌هـای ایـن تحقیـق، Martí و همکـاران (2002) آب انـار را در دمـای 5 و 25 درجـه سلسـیوس نگهداری و گزارش کردند که طی 150 روز دوره نگهداری شـاخص *L به شکل معنی‌داری کاهش یافت. همچنین شاخص *L و نمونـه نگهداری‌شده در دمای 25 درجه سلسیوس با سرعت بیشتری نسـبت به دمای 5 درجه سلسـیوس کـاهش یافـت (Martí *et al.*, 2002). اگرچه شاخص *a نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای 4 و20- درجه سلسیوس تا هفته 14، تغییـر معنـی‌داری پیـدا نکـرد، امـا ارزش *a نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای 20 و 35 درجه سلسـیوس از روز اول نگهداری به شکل مشهودی کاهش نشان داد (شکل 1-ب).



شکل 1- تغییر در شاخص‌های رنگی (الف) ارزش *L، (ب) ارزش*a، (ج) ارزش *b، کنسانتره آب انار رقیق شده (6/5 درجه بریکس) طی دوره نگهداری در دماهای مختلف

کاهش ارزش a^* و L^* می‌تواند به دلیل متمایل شدن رنگ بـه سمت قهوه‌ای باشد کـه ایـن امـر مـی‌توانـد بـه دلیـل تخریـب آنتوسیانین‌ها و به دنبال آن تشکیل و تراکم پلیمرهای رنگی باشـد (Wrolstad *et al.*, 2005). از نظر ساختمانی آنتوسیانین‌ها مشتق کاتیون فلاویلیوم هستند که آنها را بسیار واکنش‌پذیر مـی‌سـازد. این واکنش‌ها همچنـین ممکـن اسـت موجـب بـی‌رنـگ شـدن

آنتوسیانین¬ها گردند (Mgaya- Kilima *et al*., 2015).

Pérez-Vicente و همکاران (2004) گزارش کردند که رنگ نمونه¬های آب انار طی دوره نگهداری در دماهای 20 و 35 درجه سلسیوس متمایل به قهوه¬ای می¬گردد (شاخص¬های رنگی (L*a*b* روندی مشابه با شاخص¬های رنگی در پژوهش حاضر داشتند (Pérez-Vicente *et al*., 2004). در پژوهش حاضر ارزش b* طی 14 هفته اول تقریباً ثابت باقی ماند. اما پس از آن کاهش یافت. (شکل1-ج). در پایان دوره نگهداری ارزش b* نمونه¬های نگهداری¬شده در دمای 35 درجه سلسیوس به شکل معنی¬داری کمتر از نمونه¬های نگهداری¬شده در دماهای 20-، 4 و 20 درجه سلسیوس بود. همچنین، Lee و Coates (2002)، رنگ آب انگور قرمز نگهداری¬شده در دمای 23- درجه سلسیوس را به مدت 12 ماه مورد بررسی قرار داده و کاهش ارزش a* و b* نمونه¬ها را طی دوره نگهداری گزارش کردند (Lee and Coates, 2002). در تحقیق حاضر L*a*b* نمونه¬های نگهداری¬شده در دماهای 4 و 20- درجه سلسیوس در 14 هفته اول دوره نگهداری به شکل مشابهی کاهش یافتند. این کاهش بیانگر تأثیر مشابه این دو دما بر کنسانتره آب انار طی 14 هفته دوره نگهداری می¬باشد.

بررسی شکل گیری کدورت ثانویه

نتایج حاصل از بررسی ایجاد کدورت ثانویه پس از رقیق‌سازی کنسانتره آب انار تا 6/5 درجه بریکس نشان داد که کدورت ثانویه تنها پس از 17 هفته مشاهده گردید. بین نمونه‌های نگهداری‌شده در دمای 35 درجه سلسیوس از هفته 17 تا 20 تفاوت معنی‌داری در میزان کدورت ثانویه مشاهده نشد. نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای پایین‌تر از 35 درجه سلسیوس در تمام مدت دوره نگهداری شفاف باقی مانده و هیچ‌گونه کدورت ثانویه‌ای مشاهده نگردید. این کدورت عمدتاً به دلیل ایجاد ترکیبات پلیمری بین پلی‌ساکاریدها، پلی‌فنول‌ها، قندها، یون‌های فلزی، پروتئین‌ها، قطعات دیواره سلولی و سایر ساختارهای سلولی می‌باشد. ساختارهای پروتئین -پلی‌فنول بیشترین ترکیبات پلیمری تشکیل‌دهنده کدورت ثانویه می‌باشند (Fang *et al*., 2006). این نتایج با یافته‌های Fang و همکاران (2006) بر روی آب تصفیه شده توت قرمز مطابقت داشت. کدورت آب تصفیه شده توت قرمز پس از 6 ماه نگهداری در دمای 25 درجه سلسیوس کدر گردید (Fang *et al*., 2006).

خصوصیات رئولوژیکی

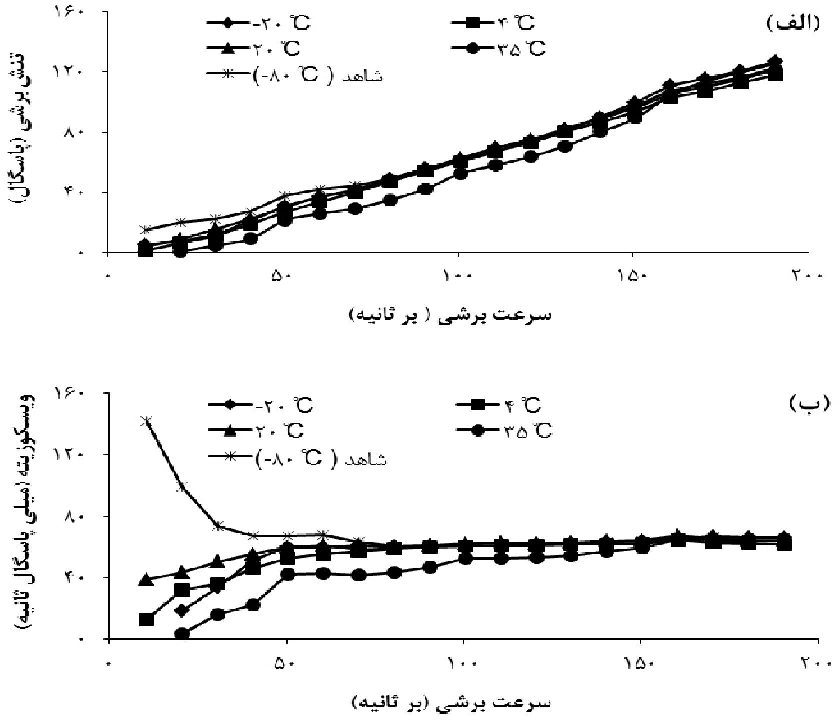
همانطور که در شکل 2- الف مشاهده می‌شود ، اگرچه نمونه شاهد (نگهداری شده در 80- درجه سلسیوس) رفتار رئولوژیکی رقیق شونده با برش (n<1) منطبق با مدل هرشل باکلی از خود نشان داد، اما نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای 20-، 4، 20 و 35 درجه سلسیوس رفتار غلیظ‌شونده با برش (n>1) از خود نشان دادند. در نمونه‌های نگهداری‌شده در دمای 35 درجه سلسیوس رفتار غلیظ‌شونده با برش مشهودتر بود. این رفتار غیرنیوتونی می‌تواندمربوط به شکل‌گیری واحدهای مولکولی سنگین وزن تشکیل شده مانند ساختارهای پروتئین– پلی‌فنول طی دوره نگهداری باشد (Pinelo *et al*., 2010; Fang *et al*., 2006). نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای 20-، 4 و 20 درجه سلسیوس در سرعت‌های برشی 50 – 0/5 بر ثانیه رفتار غیرنیوتنی از خود نشان دادند در حالی‌که نمونه نگهداری‌شده در دمای 35 درجه سلسیوس در سرعت‌های برشی 150 – 0/5 بر ثانیه رفتار غیرنیوتنی از خود نشان داد.

مقایسه میزان ترکیبات زیست‌فعال

طبق جدول 2 با گذشت زمان و در دماهای بالاتر میزان فنول کل به شکل معنی‌داری کاهش یافت. کمترین میزان فنول کل (1650 میلی‌گرم گالیک اسید بر لیتر) پس از 20 هفته نگهداری در دمای 35 درجه سلسیوس مشاهده گردید. از آنجایی که آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در کنسانتره آب انار در مرحله پاستوریزاسیون آب انار ورودی غیرفعال گردیده است، در نتیجه علت اصلی کاهش ترکیبات فنولی فعال، می‌تواند واکنش‌های تجزیه‌ای غیرآنزیمی مانند تخریب آنتوسیانین‌ها (به‌عنوان یکی از ترکیبات فنولی) توسط آسکوربیک اسید و همچنین تشکیل ساختارهای پلیمری از ترکیبات فنولی می‌باشد (Wrolstad *et al*., 2005). همچنین، Klimczak و همکاران (2007) نیز روندی کاهشی را برای میزان فنول کل نمونه‌های آب پرتقال نگهداری‌شده در دماهای 18، 28 و 38 درجه سلسیوس طی 6 ماه دوره نگهداری، گزارش کردند (Klimczak *et al*., 2007). همچنین Boranbayeva و همکاران (2014) تغییر در میزان آنتوسیانین های شاه توت را پس 8 ماه نگهداری در دماهای 20، 30 و 40 درجه سلسیوس مورد بررسی قرار دادند و کاهش معناداری را در میزان آنتوسیانین که جزئی از ترکیبات فنولی است مشاهده نمودند (Boranbayeva *et al*., 2014). میزان فنول کل نمونه‌های کنسانتره آب انار نگهداری‌شده در دماهای 4 و 20- درجه سلسیوس در مقایسه با نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. همچنین، Tavarini و همکاران (2008)، میزان فنول کل میوه کیوی را طی دو ماه نگهداری در دمای صفر درجه سلسیوس بررسی و تغییر معنی‌داری مشاهده نکردند (Tavarini *et al*., 2008).

اثر زمان و دما بر میزان فلاوونوئید کل در جدول 2 نشان داده شده است. میزان فلاوونوئید کل نمونه‌های نگهداری شده در دماهای 20- و 4 درجه سلسیوس در مقایسه با نمونه شاهد تغییر معنی‌داری نداشتند. البته نمونه‌های نگهداری شده در 20 و 35 درجه سلسیوس

میزان فلاوونوئید کل به شکل معنی‌داری افزایش یافت. احتمالاً این افزایش مربوط به حضور پیش‌سازهای فلاوونوئیدی در نمونه‌ها می‌باشد مشابه با یافته‌های این تحقیق، Igual و همکاران (2011) نشان داد که میزان فلاوونوئید کل آب انگور طی 60 روز نگهداری در دمای 4 درجه سلسیوس افزایش یافت (Igual *et al.*, 2011).



شکل 2- بررسی (الف) تنش برشی-سرعت برشی، (ب) ویسکوزیته-سرعت برشی نمونه های کنسانتره آب انار تازه و پس از 20 هفته نگهداری در دماهای مختلف

خصوصیات آنتی‌اکسیدانی

مطابق نتایج جدول 2، میزان IC_{50} نمونه‌های کنسانتره با افزایش دمای نگهداری افزایش و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها کاهش یافت. تفاوت معنی‌داری بین IC_{50} نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای 4 و 20 درجه سلسیوس (0/55 و 0/53میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) در مقایسه با نمونه شاهد (0/45 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) وجود داشت. بیشترین میزان IC_{50} (0/6 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه نگهداری‌شده در دمای 35 درجه سلسیوس مشاهده شد. میزان IC_{50} نمونه نگهداری شده در دمای 20- درجه سلسیوس در مقایسه با نمونه شاهد تغییری معنی‌داری از خود نشان نداد. مشابه نتایج تحقیق حاضر، Klimczak و همکاران (2007) گزارش کردند که خصوصیت بازدارنگی رادیکال آزاد DPPH آب پرتقال طی 6 ماه نگهداری در دمای 38 درجه سلسیوس، کاهش یافت (Klimczak *et al.*, 2007). این کاهش می‌تواند مربوط به از دست رفتن اسید آسکوربیک طی دوره نگهداری باشد (Dede *et al.*, 2007). همچنین، Igual و همکاران (2011) آب انگور را به مدت 2 ماه در دو دمای 4 و 18- درجه سلسیوس نگهداری و خصوصیات بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH را اندازه‌گیری و نشان دادند که در انتهای دوره نگهداری فعالیت بازدارندگی نمونه‌های نگهداری شده در دمای 4 درجه سلسیوس بیشتر بود (Igual *et al.*, 2011).

همانطور که در جدول 3 مشاهده می‌شود میزان شاخص FRAP در نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای 4، 20 و 35 درجه سلسیوس کمتر از نمونه شاهد بود. کاهش ارزش FRAP مربوط به کاهش میزان ویتامین C طی دوره نگهداری می‌باشد. مشابه نتایج این تحقیق، Piljac-Žegara و همکاران (2011) میوه گیلاس را به‌ترتیب 4 و 17 روز در دماهای 4 و 25 درجه سلسیوس نگهداری و کاهش ارزشFRAP در هر دو دما را مشاهده کردند (Piljac-Žegara *et al.*, 2011). همچنین، Klimczak و همکاران (2007) ارزش FRAP آب پرتقال را پس از 6 ماه نگهداری در دماهای 18، 28 و 38 درجه سلسیوس مورد ارزیابی قرار داده و گزارش کردند

کاهش میزان ارزش FRAP پس از دوره نگهداری به دلیل کـاهش میزان فنول کل و ویتامینC می‌باشد (Klimczak *et al.*, 2007).

جدول 2- ترکیبات زیست‌فعال کنسانتره آب انار پس از 20 هفته نگهداری در دماهای مختلف.

ترکیبات زیست‌فعال	دمای نگهداری (درجه سلسیوس)				
	80- (شاهد)	20-	4	20	35
میزان فنول کل (میلی‌گرم گالیک اسید در صد گرم)	*93^{a}±2465	71^{a}±2398	130^{a}±2392	436^{ab}±2067	464^{b}±1650
میزان فلاوونوئید کل (میلی‌گرم کوئرستین درصد گرم)	2^{c}±240	2^{c}±245	6^{c}±246	7^{b}±266	8^{a}±341

*در هر ردیف میانگین‌های ارائه شده با حروف کوچک متفاوت، از لحاظ آماری دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (P<0.05).

جدول 3- فعالیت آنتی‌اکسیدانی کنسانتره آب انار پس از 20 هفته نگهداری در دماهای مختلف.

شاخص آنتی‌اکسیدانی	دمای نگهداری (درجه سلسیوس)				
	80- (شاهد)	20-	4	20	35
IC_{50} (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	*$0/007^{c}$±0/45	$0/008^{c}$±0/47	$0/400^{b}$±0/55	$0/01^{b}$±0/53	$0/009^{a}$±0/60
FRAP (گرم آسکوربیک اسید بر لیتر)	$0/5^{a}$±1/3	$0/5^{a}$±1/3	$0/1^{b}$±1/2	$0/1^{b}$±1/2	$0/1^{b}$±1/1

*در هر ردیف میانگین‌های ارائه شده با حروف کوچک متفاوت، از لحاظ آماری دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (P<0.05).

نتیجه‌گیری

اثر دماهای مختلف طی دوره نگهداری کنسانتره آب انار صنعتی برای تعیین شرایط مناسب نگهداری و همچنین کاهش هزینـه‌هـای تولیدکنندگان برای نگهداری این محصول مورد بررسی قـرار گرفـت. نتایج بیانگر آن بود که کیفیت کلی کنسانتره آب انار شدیداً تحت تأثیر شرایط نگهداری قرار دارد. شاخص‌های کیفی (شـاخص‌هـای رنـگ، کـدورت ثانویـه، خصوصـیات رئولـوژیکی، ترکیبـات زیسـت‌فعـال و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی) نمونه‌های نگهداری‌شـده در دماهـای 4 و 20- درجه سلسیوس به مدت 14 هفته مشابه بودند. اسـتفاده از ایـن مهم (نگهداری در دمای 4 درجه سلسـیوس بـه جـای نگهـداری در حالت منجمد با حفظ کیفیت) می‌تواند به عنوان یکـی از راهکارهـای مهم برای کاهش هزینه‌های نگهداری مورد استفاده قرار گیرد. پس از 20 هفته نگهداری همچنان کنسانتره آب انار میـزان بـالای فعالیـت آنتی‌اکسیدانی از خود نشان داد.

منابع

Ahmed, J., Shivhare, U., & Singh, P. 2004. Colour kinetics and rheology of coriander leaf puree and storage characteristics of the paste. *Food Chemistry*, 84: 605-611.

Bazargani-Gilani, B., Tajik, H., and Aliakbarlu, J. 2014. Physicochemical and antioxidative characteristics of Iranian pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Rabbab-e-Neyriz) juice and comparison of its antioxidative activity with Zataria multiflora Boiss essential oil.*Veterinary Research Forum*, 5: 313- 318.

Bozdogan, A. 2015. Viscosity behaviour of bitter orange (*Citrus aurantium*) juice as affected by temperature and concentration. *Journal of Food*, 13: 535- 540.

Boranbayeva, T., Karadeniz, F., Yılmaz, E. 2014. Effect of Storage on Anthocyanin Degradation in Black Mulberry Juice and Concentrates. *Food and Bioprocess Technology*, 7: 1894- 1902.

Burdurlu, H. S., & Karadeniz, F. 2003. Effect of storage on nonenzymatic browning of apple juice concentrates. *Food Chemistry*, 80: 91-97.

Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., & Goycoolea, F. 1997. Rheology and aggregation of cactus (Opuntia ficus-indica) mucilage in solution. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 2:152-159.

Chang, C.-C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10: 178-182.

Dede, S., Alpas, H., & Bayındırlı, A. 2007. High hydrostatic pressure treatment and storage of carrot and tomato juices: antioxidant activity and microbial safety. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 773-782.

Fang, Z., Zhang, M., Tao, G., Sun, Y., & Sun, J. 2006. Chemical composition of clarified bayberry (*Myrica rubra Sieb.*

et Zucc.) juice sediment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 7710-7716.

Fawole, O. A., & Opara, U. L. 2013. Changes in physical properties, chemical and elemental composition and antioxidant capacity of pomegranate (cv. Ruby) fruit at five maturity stages. *Scientia Horticulturae*, 150: 37-46.

Fischer, U. A., Carle, R., & Kammerer, D. R. 2011. Identification and quantification of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel, mesocarp, aril and differently produced juices by HPLC-DAD–ESI/MS n. *Food Chemistry*, 127: 807-821.

Garzon, G., & Wrolstad, R. (2002). Comparison of the Stability of Pelargonidin based Anthocyanins in Strawberry Juice and Concentrate. *Journal of food science*, 67: 1288-1299

Horwitz, W., & Albert, R. 2006. The Horwitz ratio (HorRat): a useful index of method performance with respect to precision. *Journal of AOAC International*, 89: 1095-1109.

Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M., & Martínez-Navarrete, N. 2011. Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12: 153-162.

International Trade Center 2001-2015 ITC, www.intracen.org/itc//Iran-expects-record-pomegranate-harvest/ Friday, 06 Nov. 2015.

Kaya, A., & Sözer, N. 2005. Rheological behaviour of sour pomegranate juice concentrates (*Punica granatum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 40: 223-227.

Klimczak, I., Małecka, M., Szlachta, M., & Gliszczyńska-Świgło, A. 2007. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20: 313-322.

Lee, H. S., & Coates, G. A. 2002. Characterization of color fade during frozen storage of red grapefruit juice concentrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 3988-3991.

Martí, N., Pérez-Vicente, A., & García-Viguera, C. 2002. Influence of storage temperature and ascorbic acid addition on pomegranate juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82: 217-221.

Mazidi, S., Rezaei, K., Golmakani, M., Sharifan, A., & Rezazadeh, S. 2012. Antioxidant activity of essential oil from Black Zira (*Bunium persicum Boiss.)* obtained by microwave-assisted hydrodistillation. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 1013-1022.

Mgaya-Kilima, B., Fagertun Remberg, S., Elias Chove, B., and Wicklund, T. 2015. Physiochemical and antioxidant properties of roselle-mango juice blends; effects of packaging material, storage temperature and time. *Food Science and Nutrition*, 3: 100- 109.

Mousavinejad, G., Emam-Djomeh, Z., Rezaei, K., & Khodaparast, M. H. H. 2009. Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars. *Food Chemistry*, 115: 1274-1278.

Ozturk, B., Celik, S. M., Karakaya, M., Karakaya, O., Islam, A., and. Yarilgac, T. 2016. Storage Temperature Affects Phenolic Content, Antioxidant Activity and Fruit Quality Parameters of Cherry Laurel (*Prunus laurocerasus* L.) *Journal of Food Processing and Preservation, In press*.

Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abellán, P., & García-Viguera, C. 2004. Influence of packaging material on pomegranate juice colour and bioactive compounds, during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84: 639-644.

Piljac-Žegarac, J., & Šamec, D. 2011. Antioxidant stability of small fruits in postharvest storage at room and refrigerator temperatures. *Food Research International*, 44: 345-350.

Pinelo, M., Zeuner, B., & Meyer, A. S. 2010. Juice clarification by protease and pectinase treatments indicates new roles of pectin and protein in cherry juice turbidity. *Food and Bioproducts Processing*, 88: 259-265.

Sun, T., Powers, J. R., & Tang, J. 2007. Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. *Food Chemistry*, 105: 101-106.

Tavarini, S., Degl'Innocenti, E., Remorini, D., Massai, R., & Guidi, L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry*, 107: 282-288.

Van der Sluis, A. A., Dekker, M., & van Boekel, M. A. 2005. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. 3. Stability during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53:1073-1080.

Wrolstad, R. E., Durst, R. W., & Lee, J. 2005. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, 16: 423-428.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 820-829

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 829-820

Investigation of Psychochemical and Functional Properties of Pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) Juice Concentrate during Storage Period at Different Temperatures

M. Farahmand[1] , M. T. Golmakani[2*], A. Farahnaky[3], Gh. R. Mesbahi[4]

Received: 2016.04.25
Accepted: 2016.09.10

Introduction: The pomegranate (*Punica granatum* L.) belongs to the family Punicaceae, which is planted around the world in different microclimatic areas. The pomegranate production has grown uninterruptedly, which is presumably due to the increasing consumer awareness of the benefits attributed to pomegranate and its polyphenols. Pomegranate fruit has valuable compounds with functional and medicinal effects like antioxidant, anticancer, and anti-atherosclerotic effects. Storage of juice concentrate can have a dramatic impact on physicochemical quality. The bioactive compounds and antioxidant activity in fruit juice products are influenced by many external factors like different storage temperatures. Knowledge of the rheological behaviour of juice products is essential for product development, design and evaluation of process equipment like pumps and piping. Pomegranate concentrate is so susceptible to the condition of storage, which results in a reduction in consumer acceptability and quality losses. Accordingly, the industrial concentrate stores frozen (-20 °C) which has a lot of costs to the producer. The objectives of this study were to evaluate the degradation visual color, the rheological characteristics of pomegranate juice concentrates, the stability of phytochemicals, the antioxidant activity, and the haze formation of reconstituted pomegranate juice concentrate during storage at different temperatures to determine the best storage conditions to reduce the quality losses and solving the problem about high cost of storage.

Materials and methods: The concentrated pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) juice used in this study supplied from Narni (Green farm, Neyriz, Iran) factory. The pomegranate juice concentrate was poured into falcons for measuring physicochemical attributes, and micro tubes for determination of antioxidant activities. Then the samples were divided into four parts and stored equally in four different temperatures (-20, 4, 20, and 35 °C). The control samples were stored at -80 °C as fresh sample for the storage period (140 days). Folin-Ciocalteu reagent and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPHº) were supplied from Sigma-Aldrich Company (St. Louis, MO, USA). All other chemicals were of analytical grade and purchased from Merck Company (Darmstadt, Germany). The total soluble solid (TSS) was determined with a digital refractometer (Carl Zeiss, Germany). Total insoluble solid was measured by centrifugation at (5,000 × g) according to the IFFJP method 60, using a high speed centrifuge (Ibarz et al., 2011). The haze formation of reconstituted juice was determined by "settling" in a glass tube for 3 hour at room temperature. Color measurements of the juice samples were carried out using a HunterLab (CHROMA METER CR-400/410, KONICA MINOLTA, Japan) after dilution. The rheological characteristics of the pomegranate juice concentrate stored in different temperatures were studied by using a computer controlled rotational viscometer. Sample compartment was monitored at a constant temperature (25°C) using a water bath/circulator, while TSS was 65 °Brix. The viscosity measurements, was carried out According to the methods described by Cárdenas et al., (1997), using a Brookfield cone and plate viscometer (DVII pro Brook field, USA) between the shear rate of 0.5–200 (1/s). Total phenolic content of samples was measured according to the Folin-Ciocalteu colorimetric method (Sun et al., 2007). Total flavonoid content in juices was determined via a spectrophotometer according to the method of Chang et al. (2002). Radical scavenging activities of the samples were measured by using DPPHº as described by Mazidi et al., (2012). The ferrous ion reducing antioxidant power (FRAP) of the samples was measured calorimetrically according to the method by Fawole and Opara (2013). All analyses were performed by the Statistical Analysis System (SAS) software V 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA). By using the analysis of variance (ANOVA), the differences among means were determined for significance at $P< 0.05$.

1, 2 and 4. Former MSc Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz.
3. Professor of Food Science and Technology Department, School of Agriculture, Shiraz University/ School of Biomedical Sciences, ARC Industrial Transformation Training Centre for Functional Grains and Graham Centre for Agricultural Innovation, Charles Sturt University, Wagga Wagga, NSW, Australia
(* Corresponding author. E-mail: golmakani@shirazu.ac.ir)

Results and discussion: The industrial pomegranate juice concentrate stored at (-20, 4, 20, and 35 °C) for 20 weeks, and some physicochemical properties like the second turbidity, CIE Lab color parameters, the rheological properties, the bioactive component (total phenolic and flavonoid contents), and antioxidant properties (FRAP and DPPH) investigated in order to determine the best condition of storage. The second turbidity was obvious among the samples stored at 35 °C in the last fourth weeks. Although there were no significant differences among L* value of the samples stored at -20, 4, and 20 °C, a* and b* value of the samples stored at -20 and 4 °C had the same reduction trend for 14 weeks. Even though the control samples had shear thinning behavior, the samples showed a dilatant behaviour after storage. Antioxidant activities measured via DPPH and FRAP sowed reduction with increasing time and temperature. Flavonoid content increased by increasing time and temperature. In conclusion, storage at 4 °C for 14 weeks was the best storage condition to keep the quality and reduce the costs.

Keywords: Antioxidant, Bioactive compounds, Pomegranate juice concentrate, Rheological properties.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 830-843

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 843-830

بهینه‌سازی و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی، حسی و میکروبی نوشیدنی پروبیوتیک لیمویی تولید شده بر پایه تراوه

رضا امیر خمیریان[1]- حسین جوینده[2]*- جواد حصاری[3]- حسن برزگر[4]

تاریخ دریافت: 1394/08/30
تاریخ پذیرش: 1394/12/08

چکیده

امروزه به‌دلیل تقاضای روبه‌رشد فراورده‌های آب‌پنیر بویژه کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر (WPC) و پروتئین ایزوله آب‌پنیر (WPI)، مقدار قابل توجهی تراوه تولید می‌گردد که دفع آن آلودگی محیط‌زیست را به‌دنبال دارد. تولید نوشیدنی‌های پروبیوتیک از تراوه می‌تواند به‌عنوان راه‌حلی مناسب برای جلوگیری از هدر رفتن تراوه و تولید نوشیدنی‌های ارزان قیمت با خواص تغذیه‌ای مناسب مورد توجه قرار گیرد. هدف از این مطالعه بهینه‌یابی فرمولاسیون نوشیدنی لیمویی تولید شده برپایه تراوه با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی و تولید نوشیدنی پروبیوتیک از نوشیدنی بهینه می‌باشد. مطابق نتایج آزمون‌های ابتدایی، مقادیر تراوه (12/95-97/04 ml)، آب (19/77-70/22 ml) و کنسانتره لیمو (5/59-16/04 g) به‌عنوان متغیرهای ثابت آزمایش تعیین و تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، اسیدیته، ماده خشک و بریکس) و حسی (مزه، رنگ، بو، پس مزه و پذیرش کلی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که بهترین خصوصیات زمانی حاصل می‌شود که فرمولاسیون نوشیدنی شامل 50/63 ml آب، 30 ml تراوه و 10/67 g کنسانتره لیمو باشد. در ادامه، نوشیدنی بهینه پس از پاستوریزاسیون با باکتری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* تلقیح شد و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی، حسی و میکروبی آن در مدت 28 روز نگهداری در دمای 4°C بررسی گردید. نتایج نشان داد که طی نگهداری امتیازات حسی و pH محصول کاهش یافت درحالی‌که تغییرات ماده خشک و بریکس نوشیدنی معنی‌دار نگردید. تعداد باکتری‌های پروبیوتیک در پایان مدت نگهداری 6/95 log cfu/ml و مقادیر فنل کل (برحسب اسید گالیک) 12/98 mg/100g، خواص آنتی‌اکسیدانی 0/82 µmol/g برحسب ترولکس و 1/79 µmol/g برحسب آهن II و مقدار ویتامین C نوشیدنی 8/32 mg/100g تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: تراوه، باکتری‌های پروبیوتیک، نوشیدنی میوه‌ای لیمویی، روش سطح پاسخ

مقدمه

یکی از روش‌های تولید پنیر استفاده از سیستم فراپالایش می‌باشد. در طی عمل فراپالایش یا اولترافیلتراسیون، شیر یا آب پنیر به دو جزء رتنتیت یا ناتراوه و پرمیت یا تراوه تبدیل می‌شود. تراوه به‌عنوان محصول جانبی در هنگام تولید فراورده‌های آب پنیر همانند ایزوله پروتئینی آب پنیر (WPI) و پروتئین آب پنیر تغلیظ شده (WPC) از شیر یا آب پنیر و با کمک فرایند فراپالایش تولید می‌گردد. ترکیب تراوه عمدتاً شامل آب، لاکتوز، املاح و مقادیر جزیی چربی و پروتئین می‌باشد (Beucler *et al*, 2005). اکثراً تراوه تولید شده یا به‌عنوان خوراک دام مصرف شده و یا دفع می شود. تنها در ایران سالانه 251000 تن پنیر به روش فراپالایش تولید می‌شود که مقدار تراوه حاصل از آن حدود 1000000 تن در سال است (جوکار و همکاران، 1385). با توجه به حجم بالای تراوه تولید شده، در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی به‌منظور جلوگیری از هدر رفت این ماده غذایی با ارزش انجام گرفته است. برتری مهم تراوه نسبت به آب پنیر کارخانجاتی که با روش‌های غیر UF پنیر تولید می‌کنند، این است که لاکتوز را می‌توان به‌صورت دست نخورده حفظ کرد (Sinha *et al*, 2007). از جمله موارد پیشنهادی در زمینه بکارگیری تراوه، تولید لاکتوز و اسیدهای آلی به‌ویژه اسیدلاکتیک و اسید استیک است که مصارف زیادی در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و پلیمری دارند. (Panesar *et al*, 2007). همچنین می‌توان تراوه را به‌وسیله روش‌های خشک کردن به پودر تبدیل نمود و در صنایع غذایی همانند شیرینی‌پزی، قنادی و شکلات‌سازی مورد استفاده قرار داد (Garcia *et al*, 2002). تبدیل لاکتوز موجود در تراوه به

1، 2و 4-به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ملاثانی، خوزستان.
3- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز.
(* - نویسنده مسئول (Email: hosjooy@yahoo.com

DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.51593

مونوساکاریدهای تشکیل‌دهنده آن با استفاده از آنزیم بتاگالاکتوزیداز در محیط فرمانتور (Leiva & Guzman, 1995) و تولید نوشیدنی الکترولیت به‌عنوان نوشیدنی‌های عملگرا (Beucler *et al*, 2005) از دیگر پیشنهادات ارایه شده در این زمینه است. به‌نظر می‌رسد که تولید نوشیدنی‌های پروبیوتیک از تراوه نیز می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب در بکارگیری تراوه مورد توجه قرارگیرد.

امروزه مصرف شیر و فرآورده‌های آن به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه جوامع انسانی مطرح است و همبستگی بالایی بین سطح مصرف فرآورده‌های لبنی و سطح سلامتی افراد جامعه به‌لحاظ کارایی و ضریب هوشی، میزان ابتلا به بیماری‌های عفونی و پیشگیری از پوکی استخوان وجود دارد. در این میان، نوشیدنی‌های لبنی بخش عمده‌ای از محصولات لبنی را به‌خود اختصاص داده و به دلیل اهمیت های تغذیه‌ای مورد توجه ویژه قرار دارند (Bylund, 2003). پروبیوتیک‌ها میکروب‌های زنده‌ای هستند که مصرف منظم و کافی آنها با بهبود خواص میکروبی روده، واجد آثار سودمندی بر سلامت مصرف‌کننده است (Sanders, 2003). مصرف گونه‌های پروبیوتیک دارای اثرات سلامتی‌بخشی نظیر کمک به هضم لاکتوز، کنترل کلسترول سرم خون، کنترل سرطان و یا بیماری‌های عفونی دستگاه گوارش است. برای تحقق این آثار سلامتی‌بخش مصرف منظم 10^6الی 10^9 سلول زنده این باکتری توصیه می‌شود. مصرف محصولات لبنی تخمیری حاوی کشت‌های بیفیدوباکتر و لاکتوباسیلوس در استقرار دوباره این ارگانیسم‌ها در روده کمک می‌کند و در نتیجه از رشد باکتری‌های مضر جلوگیری کرده و باعث افزایش ویژگی‌های درمانی محصول می‌شود (Kop-Hoolihan, 2001).

در تولید نوشیدنی استفاده از یک پایدارکننده به‌منظور تثبیت سیستم کلوئیدی نوشیدنی و جلوگیری از رسوبات حاصل از فرایندهای حرارتی ضروری می‌باشد (جوکار و همکاران، 1385). بدین منظور می‌توان از مخلوط تثبیت‌کننده صمغ عربی- سدیم کازئینات استفاده نمود (Ye *et al*, 2012). همچنین استفاده از تثبیت کننده‌های دیگر مانند پکتین و سایر ترکیبات فعال سطحی به منظور جلوگیری از ترسیب پروتئین ها پیشنهاد گردیده است (Sodini *et al*, 2006). امروزه با توجه به آگاهی مردم نسبت به نقش رژیم غذایی در سلامت افراد، تولید غذاهای با میزان کالری پایین، افزایش پیدا کرده است. از این رو ترکیبات شیرین‌کننده متنوعی به‌عنوان جایگزینی شکر و تولید محصولات با میزان کالری کمتر مطرح شده است. استویا یکی از این شیرین کننده‌های غیرکالری‌زا است که دارای خواص آنتی‌اکسیدان، ضددیابتی، ضداسهال، ضدهایپرگلایسمی، ضدفشارخون، ضدتومور و ادرارآور می‌باشد (Shivanna *et al*, 2013). بنابراین می‌توان جهت تولید نوشیدنی عملگرا با ارزش تغذیه‌ای بالا و کالری پایین از استویا به‌عنوان شیرین‌کننده غیرکالری‌زا استفاده نمود.

حجم زیاد استقبال از محصولات لبنی موجب گردیده است تولیدکنندگان صنایع لبنی تلاش دو چندانی برای ایجاد تنوع در فرمولاسیون محصولات انجام دهند. در این پژوهش سعی بر آن بوده است تا نوشیدنی پروبیوتیک لیمویی نسبتاً ارزان با خواص حسی مطلوب و خصوصیات تغذیه‌ای و عملکردی بالا برای عموم مصرف‌کنندگان تولید شود.

مواد و روش‌ها

تراوه مورد استفاده از تولید پنیر فراپالایش از شرکت شیر پاستوریزه پگاه آذربایجان شرقی و کنسانتره لیمو از شرکت تکدانه مرند تهیه شد. به‌منظور تثبیت سیستم کلوئیدی نوشیدنی حاصل و جلوگیری از رسوب پروتئین‌ها در محیط اسیدی و در اثر فرایند حرارتی، مخلوط صمغ عربی (Norevo، آلمان)- سدیم کازئینات (Altroika، ترکیه) براساس آزمون‌های مقدماتی به‌ترتیب به مقدار 0/2 و 0/5 درصد وزنی/ حجمی انتخاب و جهت تولید نوشیدنی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. جهت شیرین کردن نوشیدنی و پوشاندن طعم و مزه تراوه، مخلوط شکر سفید- استویا براساس آزمون‌های مقدماتی به‌ترتیب به مقدار 2 و 0/02 درصد وزنی/ حجمی انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از تری سدیم فسفات (تهران اسید، ایران) به مقدار 0/8 درصد جهت نزدیک نمودن pH نوشیدنی به pH اپتیمم پروبیوتیک (6 -5/5) مصرفی و کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر (پگاه آذربایجان شرقی) به میزان 1 درصد جهت بهبود خواص تغذیه‌ای و احساس دهانی استفاده شد.

تهیه نوشیدنی میوه‌ای پروبیوتیک و غیرپروبیوتیک

در این پژوهش، برای تهیه نوشیدنی‌ها از سطوح مختلف تراوه، کنسانتره و آب استفاده شد (جدول 1). تولید نوشیدنی‌های میوه‌ای بر پایه تراوه بر اساس روش پیشنهادی توسط Beucler و همکاران (2005) پس از اعمال تغییرات لازم در روش تولید و فرمولاسیون صورت پذیرفت. برای تولید نوشیدنی ابتدا استویا، شکر، مخلوط صمغ عربی- سدیم کازئینات، WPC و فسفات خوراکی با هم به‌خوبی مخلوط و در مقدار مناسبی آب محلول گردیدند. پس از یک روز نگهداری، تراوه و کنسانتره لیمو به این مخلوط اضافه و با همزن مکانیکی (Finetech، کره جنوبی) مجدداً مخلوط به‌خوبی همگن گشت. در پایان، نوشیدنی در بن ماری در دمای 80°C به مدت 5 دقیقه پاستوریزه شده و پس از رساندن به دمای محیط (20°C) آزمون‌های مورد نظر روی آن انجام شد. برای تهیه نمونه‌های پروبیوتیک علاوه بر مراحل فوق، پس از پاستوریزاسیون و سرد شدن

تا دمای محیط، مقدار یک درصد از شیر پس‌چرخ حاوی باکتری پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* اضافه گردید و سپس نمونه‌ها در بطری‌های پلی‌اتیلنی 200 میلی‌لیتری پر شدند و تا زمان انجام آزمایشات در دمای 4°C نگهداری شدند. کلیه آزمون‌های شیمیایی و حسی جهت بهینه‌سازی تولید نمونه بلافاصله پس از تولید انجام گرفت. در مرحله بعد و جهت مقایسه نوشیدنی‌های پروبیوتیک با غیرپروبیوتیک، تمامی آزمون‌های شیمیایی، میکروبی و حسی پس از تولید و پس از 7، 14، 21 و 28 روز نگهداری انجام شدند.

جدول 1- متغیرهای مستقل و سطوح مورد استفاده از آنها در طرح سطح پاسخ[1]

نوع متغیر	واحد	نماد ریاضی	سطوح کدبندی شده متغیر				
			+1/682	+1	0	-1	-1/682
تراوه	ml	X_1	97/04	80	55	30	12/9552
آب	ml	X_2	70/22	60	45	30	19/7731
کنسانتره	g	X_3	16/04	14	11	8	5/9546

[1]شش تکرار در نقطه مرکزی برای تخمین مجموع خطای کامل مربع ها به کار گرفته شد.

تهیه کشت پروبیوتیک

در این پژوهش از باکتری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* LA5 (خشک شده انجمادی از نوع DVS[1]، شرکت Chiristian Hansen دانمارک) به‌عنوان سویه پروبیوتیک استفاده شد. میزان تلقیح پروبیوتیک‌ها به شکلی انجام پذیرفت که تعداد اولیه آنها در نوشیدنی‌ها و در شروع زمان نگهداری بیش از 10^9 cfu/ml باشد. برای این منظور، یک لیتر شیر پس‌چرخ در دمای 90°C به مدت 15 دقیقه حرارت داده شد و پس از سرد شدن به دمای 37°C، مقدار 25 گرم پودر DVS حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* LA5 به آن اضافه گردید. سپس شیر پس چرخ مذکور با مقادیر مختلف 0/1، 0/25، 0/5، 0/75 و 1 درصد به نمونه‌های نوشیدنی پروبیوتیک اضافه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان یک درصد تلقیح برای رسیدن به تعداد حداقل زنده‌مانی مورد نظر ($>10^9$) انتخاب گردید، به‌طوری که هر میلی‌لیتر شیر پس‌چرخ مذکور حاوی logcfu/ml 0/84± 11/91 باکتری پروبیوتیک LA5 بود. نوشیدنی‌ها پس از تلقیح، بدون انجام تخمیر به سرعت به یخچال منتقل و نگهداری شدند.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

اسیدیته تراوه بر حسب اسید لاکتیک و نوشیدنی میوه‌ای برحسب اسید سیتریک به روش تیتراسیون با محلول سود در حضور معرف فنل‌فتالئین، pH توسط pHمتر دیجیتال (knick، 766، آلمان)، مواد جامد محلول با استفاده از رفراکتومتر دستی ATAGO (ژاپن)، ماده خشک به روش تبخیر در آون، خاکستر به روش سوزاندن در کوره الکتریکی، پروتئین به روش کلدال (ضریب تبدیل: 6/38) و چربی به روش ژربر اندازه گیری شد (AOAC, 2005). اندازه‌گیری فنل کل (Singleton & Rossi, 1965)، تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برحسب ترولکس (Re *et al*, 1999) و کاهش قدرت آنتی‌اکسیدانی آهن II (Song *et al*, 2010) توسط اسپکتوفتومتر HACH (ساخت آمریکا) انجام شد. اندازه‌گیری ویتامین C نیز به روش یدومتری (Cesar *et al*, 1999) انجام پذیرفت.

رنگ

عکس‌برداری با استفاده از دوربین دیجیتالی(Finepix A202، Fujifilm، چین) تعبیه شده در محفظه چوبی استاندارد موجود در دانشگاه تبریز انجام شد و فاکتورهای مربوط به رنگ (L، a و b)، با انتقال تصاویر به رایانه و اندازه‌گیری 5 نقطه توسط نرم‌افزار فتوشاپ به‌دست آمدند (Yam and Papadakis, 2004).

آزمون‌های میکروبی

به‌منظور تأیید کیفیت میکروبی نوشیدنی‌های پروبیوتیک و غیرپروبیوتیک، تعداد کل میکروارگانیسم‌ها، کلی فرم و کپک و مخمر بلافاصله پس از تولید و پس از 7، 14، 21 و 28 روز بررسی گردید (Krishnaiah *et al*, 1989). زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها نیز در فواصل زمانی مذکور مطابق با روش Mortazavian و همکاران (2007) ارزیابی شد.

ارزیابی حسی

پس از برگزاری آزمون‌های حسی مقدماتی و قرار دادن یک نمونه تکراری میان سه نمونه نوشیدنی در هر بار آزمون، در نهایت 10 نفر داور که بیشترین دقت در ارزیابی و تشخیص نمونه‌های مشابه

1 Direct Vat Set

برخوردار بودند، برای ارزیابی حسی انتخاب شدند. 70–60 میلی‌لیتر از هر نمونه نوشیدنی با دمای 2°C± 10 در اختیار داوران (مهندسان و کارکنان شرکت پگاه آذربایجان شرقی و دانشجویان صنایع غذایی) قرار داده شد. آزمون حسی مطابق روش هدونیک 5 نقطه‌ای (بسیار مطلوب تا بسیار نامطلوب) انجام گرفت و صفات مزه، رنگ، بو، پس مزه و پذیرش کلی نوشیدنی توسط داوران مورد بررسی قرار گرفت. سپس داده‌های کیفی (غیرپارامتریک) به داده‌های کمی (پارامتریک) تبدیل شد، به این ترتیب که به‌عبارت بسیار نامطلوب تا بسیار مطلوب، امتیاز 1 تا 5 داده شد. نوشیدنی‌های تولید شده در سایر روزهای نگهداری به روش مذکور تحت ارزیابی حسی قرار گرفت (Meilgaard *et al*, 2006).

طرح آزمایشی RSM

در این پژوهش برای برآورد تأثیر متغیرهای مستقل تراوه (X_1)، میزان کنسانتره (X_2) و آب (X_3)، بر متغیرهای وابسته (شامل pH، اسیدیته، ماده خشک، بریکس، رنگ، بو، مزه، پس مزه و پذیرش کلی) از روش سطح پاسخ طرح مرکب مرکزی (CCD) استفاده شد (جدول 1). تعداد 20 آزمایش با توجه به طرح مرکب مرکزی (CCD) انجام گردید (جدول 2).

جدول 2- تیمارهای تصادفی آزمایش براساس متغیرهای مستقل در طرح مرکب مرکزی

تیمار	آب	تراوه	کنسانتره
1	45	55	11
2	30	30	14
3	60	30	14
4	45	12/95	11
5	70/22	55	11
6	19/77	55	11
7	60	80	14
8	45	97/04	11
9	60	80	8
10	45	55	11
11	45	55	11
12	30	80	8
13	60	30	8
14	45	55	16/04
15	45	55	11
16	45	55	11
17	45	55	11
18	30	80	14
19	45	55	5/95
20	30	30	8

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ و با نرم‌افزار Design Expert (نسخه 9) انجام شد. این طرح، دربرگیرنده گروهی از تکنیک‌های آماری و ریاضی است که امکان رسیدن به شرایط بهینه در سیستم‌های پیچیده را فراهم می‌کند. با کاربرد آنالیز رگرسیون شاخص‌های اندازه‌گیری شده درقالب یک چند جمله‌ای درجه دوم بر طبق معادله زیر مدل‌سازی شدند.

$$Y= \beta_0+ \beta_1x_1+ \beta_2x_2+ \beta_3x_3+ \beta_{11}x_1^2+ \beta_{22}x_2^2+ \beta_{33}x_3^2+ \beta_{12}x_1x_2+ \beta_{13}x_1x_3+ \beta_{23}x_2x_3 \quad (1)$$

که در آن y پاسخ‌های مختلف و β_0 ضرایب ثابت مدل‌ها است. (β_1، β_2، β_3)، (β_{11}، β_{22}، β_{33}) و (β_{12}، β_{13}، β_{23}) به ترتیب نشان‌دهنده اثرخطی، درجه دوم و برهمکنش مدل پیشنهادی به‌وسیله آنالیز چندگانه رگرسیون می‌باشد. x_1، x_2 و x_3 متغیرهای مستقل می‌باشند. پس از به‌دست آمدن نمونه بهینه، داده‌ها با استفاده نرم‌افزار SPSS ویرایش 20 به روش طرح کاملا تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت.

3-بحث و نتایج

جدول 3 ترکیبات تراوه و کنسانتره لیمو مورد استفاده در تهیه

نوشیدنی لیمویی را نشان می‌دهد. در این تحقیق از تـراوه حاصـل از فرایند تولید پنیر سفید ایرانی فراپالوده استفاده گردیـد. همـانطور کـه مشاهده می‌شود، اگرچه در مقایسه با آب پنیر مقدار پروتئین و چربـی تراوه پایین‌تر است، اما همانند آب پنیر، بخش اعظم لاکتوز و امـلاح شیر به تراوه راه می‌یابد. بدین‌ترتیـب تـراوه قـادر بـه فـراهم آوردن محیطی مساعد برای رشد باکتری‌های اسید لاکتیک است.

جدول -3 ترکیبات تراوه و کنسانتره مورد استفاده در تولید نوشیدنی لیمویی

ماده	pH	اسیدیته (%)	موادجامد محلول (BX)	ماده خشک (%)	خاکستر (%)	چربی (%)	پروتئین (%)	قند (g/100 ml)
تراوه	0/33±0/04	7/25±0/25	-	5 ±0/1	0/46±0/06	0/075±0/025	0/39±0/07	4/11±0/28
کنسانتره لیمو	2/3±0/5	25±4/39	39±1/86	-	0/36± 0/05	-	-	8±0/37

مدل‌سازی

با استفاده از این روش آماری برای هر پاسخ یک معادلـه درجـه دوم به دست آمد. جدول 4 ضرایب رگرسیون مدل‌ها برای پاسخ‌های مختلف و سایر خصوصیات مدل ارائـه شـده را نشـان مـی‌دهـد. بـا جایگزینی متغیرهای مستقل در معادله، می‌توان مقدار هر پاسـخ یـا متغیرهای وابسته را پیشگویی کرد.

جدول -4 ضرایب رگرسیون مدل‌های چند جمله برای پاسخ‌های مختلف

ضرایب	pH	اسیدیته	بریکس	ماده خشک	رنگ	مزه	بو	پس مزه	پذیرش کلی
β_0	5/03	1/67	12/11	13/01	ns	3/90	3/86	3/96	4/12
β_1	0/20	-0/19	-0/52	-0/47	ns	-0/098	0/1	ns	ns
β_2	0/34	-0/32	-0/34	-0/27	ns	-0/17	ns	ns	ns
β_3	-0/40	0/35	0/51	0/59	ns	-0/26	0/52	-0/21	-0/27
β_{12}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0/31	ns
β_{13}	ns	ns	ns	ns	ns	-0/19	ns	ns	ns
β_{23}	ns	ns	ns	ns	ns	0/14	ns	0/19	0/16
β_{11}	ns	ns	ns	ns	ns	-0/33	ns	-0/47	-0/27
β_{22}	-0/011	ns	ns	ns	ns	-0/19	ns	-0/24	-0/23
β_{33}	-0/029	-0/069	ns	ns	ns	-0/42	ns	-0/47	-0/53
R^2	0/9953	0/9934	0/9877	0/9900	0/6971	0/9651	0/9552	0/9602	0/9616
$Adj\text{-}R^2$	0/9911	0/9874	0/9854	0/9881	0/4245	0/9336	0/9469	0/9244	0/9271
value F	273/30	166/72	428/55	527/47	2/56	30/68	113/83	26/82	28/83
p-value	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	0/0799	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001

ns، در سطح 5% معنی دار نمی باشد.

یافته‌های آماری نشان داد که متغیرهای مستقل (مقـادیر آب، تراوه و کنسانتره) اثر معنی‌داری (P<0/05) بر پارامترهای اندازه‌گیری شده داشتند. امتیازات مزه، پذیرش کلی و پس مزه با افزایش مقـدار آب و تراوه به‌ترتیب تا حدود 45 و 55 میلی‌لیتر افـزایش پیـدا کـرد. افزایش کنسانتره تا حدود 11 گرم امتیازات مزه، پذیرش کلی و پس مزه را افزایش داد. همچنین با افزایش تراوه و آب مقـادیر اسـیدیته، بریکس، ماده خشک و امتیاز بو و پذیرش کلی کاهش پیدا کرد اما pH افزایش یافت.

بهینه‌سازی فرمولاسیون نوشیدنی

جهت بهینه سازی فرمولاسیون نوشیدنی، 20 فرمـول مختلـف نوشــیدنی (جــدول2) تهیــه شــد و بــا اســتفاده از آزمــون‌هــای فیزیکوشــیمیایی و حســی مــورد ارزیــابی قــرار گرفــت. بــه‌منظــور بهینه‌سازی پارامترهای اندازه‌گیری شده pH، اسیدیته و ماده خشک

در محدوده داده‌های به‌دست آمده، بریکس در نوشیدنی لیمـویی در مقدار 12/2 و همه ارزیابی‌های حسـی در بیشـترین مقـدار انتخـاب شدند. همچنین متغیرهای مستقل شامل آب، تـراوه و کنسـانتره در محدوده داده‌های به دست آمده تعریف شـدند. بـرای تعیـین اعتبـار نتایج حاصل از مدل، آزمایش‌ها تحت شرایط بهینه با 3 تکرار انجام شد. نتایج آزمایشات تجربی با نتایج حاصل مدل اختلاف معنی‌داری نداشتند و بنابراین مدل ارائه شده توسط نـرم‌افـزار مـی‌توانـد بـرای تخمین نتایج در شرایط عملی قابل کاربرد باشد (جدول 5).

جدول -5 مقایسه نتایج پیش‌بینی شده و نتایج حاصل از آزمایش نمونه بهینه نوشیدنی لیمویی برپایه تراوه

نمونه	آب ml	تراوه ml	کنسانتره g	pH	اسیدیته %	موادجامد محلول (Bx)	ماده خشک %	رنگ	مزه	بو	پس مزه	پذیرش کلی	مقبولیت
نتیجه بهینه	50/63	30	10/67	4/78	1/87	12/20	13/03	4/28	3/82	3/89	3/93	3/99	0/799
نتیجه نمونه آزمایشی تولید شده				4/81 ±0/4	1/86 ±0/09	12/26 ±0/8	13/19 ±0/8	4/33 ±0/35	4 ±0/3	3/95 ±0/28	4 ±0/3	4/13 ±0/4	

خصوصیات فیزیکوشیمیایی نوشیدنی لیمویی طی نگهداری

نمونه‌های بهینه تولید شده دارای میزان ماده خشک، پـروتئین و خاکستر بیشتری در مقایسه با نمونه‌های تجاری مانند ریولا بودنـد. (Holsinger *et al*, 1974). همانطورکه نتایج جدول 6 نشان می‌دهد، تغییرات پارامترهای pH، بریکس و مـاده خشـک در طـی نگهـداری نوشیدنی بهینه غیرپروبیوتیک، معنی‌دار نبود که دلیل آن عدم فعالیت میکروبی و کاهش قابل ملاحظه سرعت واکـنش‌هـای شـیمیایی در دمای یخچال می‌باشد (İçier *et al*, 2015). Sampedro و همکاران (2009) ، در بررسی اثر فرآیند حرارتی (85 درجه سانتی‌گراد به مدت 66 ثانیه) بر خصوصیات نوشیدنی شیر- آب پرتقال نتایج مشـابهی را گـزارش نمودنـد. نوشـیدنی بـه مـدت 4 هفتـه در دمـای 8-10°C نگهداری شد و در هفته آخر نگهداری کـاهش انـدک pH بـه دلیـل افـزایش جمعیـت میکروبـی مشـاهده گردیـد. pH نوشـیدنی‌هـای پروبیوتیک برخلاف نوشیدنی‌های فاقد پروبیوتیک، طی مـدت زمـان نگهداری کاهش معنی‌داری پیدا کرد، احتمالاً فعالیـت بـاکتری‌هـای پروبیوتیک از دلایل این کاهش می‌باشـد (Pescuma *et al*, 2010). pH نوشیدنی پروبیوتیک در طول نگهداری از مقدار 4/81 در ابتدا بـه 4/42 در انتها کاهش یافـت. بـا ایـن حـال، اخـتلاف معنـی‌داری در تغییرات بریکس و ماده خشک نوشیدنی‌هـای بهینـه پروبیوتیـک در طول نگهداری ملاحظه نگردید. Mohamed و همکاران (2014)، در بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و میکروبی نوشیدنی پاپایا طی مدت30 روز نگهداری در دمای یخچـال (4°C) ، نتـایج مشـابهی را گـزارش نمودند. این پژوهشگران نیز تغییر چندانی در مقـادیر مـاده خشـک و بریکس نوشیدنی مشاهده ننمودند، هرچند کاهش معنـی‌داری در pH نوشیدنی پاپایا طی مدت نگهداری (5/3 به 4/9) گزارش نمودنـد. در مطالعه‌ای دیگر، Jaworska و همکاران (2014) نیز پـس از 12 مـاه نگهداری نکتار انگور فرنگی سیاه، تغییرات معنـی‌داری از نظر مـاده خشک، بریکس و اسیدیته مشاهده ننمودند.

جدول -6 ماندگاری نوشیدنی پروبیوتیک و غیرپروبیوتیک بهینه شده لیمویی

آزمون		روز 0	روز 7	روز 14	روز 21	روز 28
pH	غیرپروبیوتیک	4/84 ±0/01 ^{ns}	4/83 ±0/01 ^{ns}	4/82±0/01 ^{ns}	4/81±0/04 ^{ns}	4/82±0/04^{ns}
	پروبیوتیک	4/81±0/02^{a}	4/63±0/02^{b}	4/57±0/02^{c}	4/49±0/01^{d}	4/42±0/02^{e}
مواد جامد محلول (Bx)	غیرپروبیوتیک	12/40 ±0/1^{ns}	12/43 ±0/05^{ns}	12/40 ±0/00^{ns}	12/36±0/05^{ns}	12/40±0/1^{ns}
	پروبیوتیک	12/26 ±0/05^{ns}	12/26 ±0/05^{ns}	12/20 ±0/00^{ns}	12/23±0/05^{ns}	12/16 ±0/05^{ns}
ماده خشک (%)	غیرپروبیوتیک	13/21 ±0/02^{ns}	13/23 ±0/09^{ns}	13/23 ±0/06^{ns}	13/23±0/05^{ns}	13/25 ±0/05^{ns}
	پروبیوتیک	13/19 ±0/05^{ns}	13/18 ±0/03^{ns}	13/24 ±0/07^{ns}	13/22±0/05^{ns}	13/19±0/07^{ns}

آزمون فنـل کـل، ویتـامین C و خاصـیت آنتـی‌اکسـیدانی در نوشیدنی های پروبیوتیک

نتایج نشان داد کـه مقـادیر فنـل کـل، ویتـامین C و خاصـیت آنتی‌اکسیدانی (بر مبنای ترولکس و بر مبنای تقلیل قدرت آهن II) در طول نگهداری کاهش معنی‌داری یافتند. میزان فنل کـل در ابتـدای زمان نگهداری 20/13 mg/100g ثبت گردید که پـس از 21 روز بـه 11/76 کـــاهش و ســـپس در انتهـــای زمـــان نگهـــداری بـــه 12/98 mg/100g افزایش یافت. دلیل اصلی افـزایش کـاذب میـزان فنل در انتهای دوره نگهداری احتمالاً به‌علت به‌وجـود آمـدن برخـی ترکیبات واکنش‌دهنده با معرف فولین است (Piljac-Zegarac *et al*,

Klimczak *et al*, 2007 ,.2009). خاصیت آنتی‌اکسیدانی توسط ترولکس و تقلیل قدرت آهن II به ترتیب از میزان 1/11 و 2/53 µmol/g طی 28 روز نگهداری به 0/82 و 1/79 µmol/g کاهش یافت. با توجه به رابطه مستقیم بین میزان ترکیبات فنولیک، آنتوسیانین، ویتامین C و قدرت آنتی‌اکسیدانی(Su and Chien, 2007)، همچنین کاهش این ترکیبات در طی نگهداری، طبیعتاً قدرت آنتی‌اکسیدانی نوشیدنی طی مدت نگهداری کاهش یافت. در نتایجی مشابه، Gironés-Vilaplana و همکاران (2012a) در تحقیقی در مورد تولید آب میوه مخلوط لیمو و توت ماکی[2] کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر مبنای DPPH و OH را در مدت 70 روز نگهداری در دو دمای نگهداری 4 و 25 °C گزارش نمودند. -Gironés Vilaplana و همکاران (2012b) نیز کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی توت گلوگیر سیاه[3] و لیمو را در طی نگهداری گزارش کردند. Wojdyło (2009) در تحقیقی در مورد تولید آب‌میوه مخلوط انگور سیاه و سیب گزارش نمود که در مدت یک ماه نگهداری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ABTS به میزان 39-22 درصد کاهش می یابد. همچنین طی 28 روز نگهداری میزان ویتامین C نمونه‌ها کاهش معنی‌داری یافت و از 17/26 به mg/100 8/33 تقلیل پیدا کرد. نرخ کاهش قابل توجه ویتامین C طی مدت نگهداری در مقالات مختلف متفاوت گزارش گردیده است که علت آن می‌تواند به دلایل مختلفی همانند تفاوت در میزان دمای نگهداری، میزان اکسیژن، دسترسی به نور، نوع میوه و ترکیب شیمیایی نوشیدنی باشد (Kabasakalis *et al*, 2000., Özkan *et al*, 2004). Miller و Rice-Evans (1997) نیز40 درصد کاهش ویتامین ث در آب پرتقال بعد از 24 ساعت نگهداری در شرایط اکسیداتیو را مشاهده کردند. در پژوهشی-Piljac Zegarac و همکاران (2009)، با بررسی نوشیدنی‌های زغال‌اخته، توت فرنگی و گیلاس گزارش نمودند که میزان ویتامین C در این نوشیدنی‌ها بعد از 7 روز نگهداری در یخچال، در زغال‌اخته حدود 50 درصد و در توت فرنگی و گیلاس 35 تا 58 درصد کاهش می‌یابد.

آزمون‌های حسی

خواص حسی نوشیدنی‌های غیرپروبیوتیک و پروبیوتیک لیمویی (به‌جز ویژگی رنگ نوشیدنی غیرپروبیوتیک) در طول 28 روز نگهداری کاهش معنی‌داری پیدا کرد (جدول 8). امتیاز رنگ، بو، مزه، پس مزه و پذیرش کلی نوشیدنی غیرپروبیوتیک به ترتیب از 4/26، 4/03، 3/93، 4/05 و 4/13 در روز 0 به مقادیر 4/06، 3/71، 3/80، 3/75 و 3/83 در روز 28 کاهش یافت. همچنین امتیاز رنگ، بو، مزه، پس مزه و پذیرش‌کلی نوشیدنی پروبیوتیک به ترتیب از 4/33، 4، 4/03، 4/04 و 4/13 در روز صفر به مقادیر 3/87، 3/7، 3/75، 3/56 و 3/85 در روز 28 کاهش یافت. دلایل متنوعی برای کاهش ویژگی‌های حسی در طول نگهداری ارائه شده است. از مهمترین دلایل می‌توان به فعالیت پروبیوتیک‌ها و تولید ترکیبات جدید، برهمکنش بین ترکیبات نوشیدنی به‌ویژه ترکیبات پروتئینی تراوه و مواد پکتیکی کنسانتره در نوشیدنی‌های پروبیوتیک و غیرپروبیوتیک اشاره نمود (Cliff, *et al*, 2013). لازم به ذکر می‌باشد که همه نوشیدنی‌ها پس از 28 روز نگهداری از کیفیت حسی و مقبولیت بالایی برخوردار بودند (جدول 8).

محبی و نجفی (1383) با انجام ارزیابی‌های حسی نوشیدنی‌های میوه‌ای بر پایه آب پنیر مشاهده نمودند که تأثیر مدت زمان نگهداری، دمای نگهداری و اثر متقابل زمان و دمای نگهداری (P<0.01) بر طعم، رنگ و ظاهر پذیرش کلی نوشیدنی معنی‌دار می باشد. Bayarri و همکاران (2001) نیز با بررسی تأثیر مدت زمان نگهداری بر نوشیدنی‌های با طعم پرتقال، کیوی و هلو کاهش معنی‌داری را در فاکتورهای حسی گزارش نمودند. درهرحال برخلاف این نتایج Majumdar و همکاران (2011) تغییرات معنی‌داری در ویژگی‌های حسی نوشیدنی‌های مخلوط میوه و سبزیجات (آب‌لیمو، کدوقلیانی[4] و برگ ریحان[5]) طی 6 ماه زمان نگهداری مشاهده ننمودند.

آزمون‌های میکروبی

شکل 1 روند تغییرات شمارش باکتری‌های *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (LA5) در نوشیدنی‌های پروبیوتیک در طول نگهداری در یخچال را نشان می‌دهد. تعداد اولیه این باکتری در روز اول نگهداری 9/81log cfu/ml تعیین گردید.

با وجود کاهش 2/86 سیکل لگاریتمی طی مدت 28 روز نگهداری در دمای یخچال، بقای این باکتری (6/95 log cfu/ml) بالاتر از حد استاندارد بین‌المللی تعریف شده توسط IDF[6] بود (Floch, 2014). براساس این استاندارد، محصولات پروبیوتیک برای تأثیر بر سلامتی و عملکرد مطلوب حداقل باید دارای 10^6 باکتری پروبیوتیک زنده بر حسب گرم محصول در زمان مصرف باشند. محققین دیگر نتایج مشابهی را در مورد تعداد بالای پروبیوتیک‌ها (10^6<) پس از پایان مدت زمان نگهداری ارئه نموده اند (Dragalic *et al*, 2005, Marhamatizadeh et al, 2012, Prasanna *et al*, 2014., Di Lena *et al*, 2015). Mortazavian و همکاران (2007)، اثر سرما بر زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک را بررسی کرده و نشان دادند، بالاترین زنده مانی را *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* پس از 20 روز در دمای سردخانه (4°C) دارا بود. Saccaro و همکاران (2009) کاهش دو سیکل لگاریتمی *لاکتوباسیوس اسیدوفیلوس* را در

---

2 Maqui berry
3 Black chokeberry
4 Bottle gourd
5 Basil Leaves
6 International Dairy Federation

ماست پروبیوتیک طی مدت نگهداری گزارش کردند. در هرحال برخلاف این نتایج، Rybka و Kailasapathy (1997) در مطالعه‌ای کاهش شدید باکتری‌های *لاکتوباسیوس اسیدوفیلوس* را در یک ماست پروبیوتیک تجاری طی مدت نگهداری در دمای یخچال گزارش نمودند.

نتایج آزمون‌های میکروبی نیز نشان‌دهنده عدم وجود کلنی در کشت کلی، کلی فرم و کپک و مخمر در نمونه‌های نگهداری شده در دمای سردخانه تا پایان هفته 4 بود که دلیل این امر را می‌توان با اعمال فرآیند حرارتی نوشیدنی‌ها مرتبط دانست.

جدول 7- ارزیابی فنل کل، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ویتامین C نوشیدنی پروبیوتیک لیمویی بر پایه تراوه

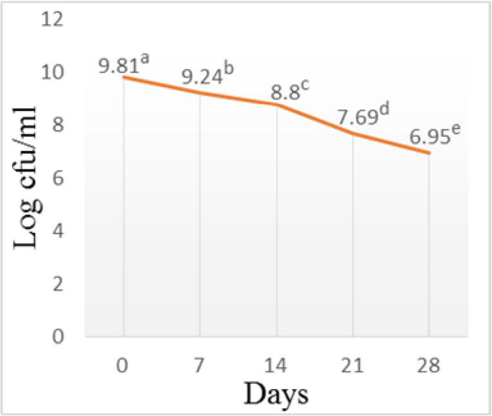
آزمون	روز 0	روز 7	روز 14	روز 21	روز 28
فنل کل (mg/100 g)	20/13±0/05^{a}	18/78±0/05^{b}	14/41±0/05^{c}	11/76±0/1^{d}	12/98±0/00^{c}
ترولکس(µmol/g)	1/11±0/04^{a}	1/03±0/03^{b}	1/05±0/06^{c}	0/93±0/11^{d}	0/82±0/03^{e}
Frap (µmol/g)	2/53±0/05^{a}	2/43±0/05^{b}	2/12±0/05^{c}	2/01±0/05^{d}	1/79±0/05^{e}
ویتامین C (mg/100 g)	17/26±0/05^{a}	15/32±0/05^{b}	13/25±0/11^{c}	10/37±0/05^{d}	8/32±0/05^{d}

حروف غیر یکسان نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار (p =0/05) در هر سطر می باشد.

جدول 8- ارزیابی حسی نوشیدنی لیمویی بهینه تولید شده برپایه تراوه

آزمون		روز 0	روز 7	روز 14	روز 21	روز 28
رنگ	غیرپروبیوتیک	4/26±0/05^{a}	4/26±0/05^{a}	4/23±0/05^{a}	4/2±0/00^{a}	4/06±0/05^{b}
	پروبیوتیک	4/33^{a}±0/05^{a}	4/33^{a}±0/05^{a}	4/26^{a}±0/05^{a}	4/06^{b}±0/05^{b}	3/85^{c}±0/1^{c}
بو	غیرپروبیوتیک	4/03±0/05^{ab}	4/06±0/05^{a}	4/03±0/05^{ab}	3/93±0/05^{bc}	3/71±0/05^{c}
	پروبیوتیک	4/00 ±0/00^{a}	3/96±0/11^{ab}	3/86±0/05^{bc}	3/8±0/00^{cd}	3/7±0/05^{d}
مزه	غیرپروبیوتیک	3/93±0/05^{a}	3/93±0/05^{a}	3/93±0/05^{a}	3/90±0/00^{a}	3/80±0/1^{b}
	پروبیوتیک	4/03±0/1^{a}	4/00±0/00^{a}	3/96±0/05^{a}	3/86±0/05^{a}	3/75±0/05^{b}
پس مزه	غیرپروبیوتیک	4/05±0/05^{a}	4/06±0/05^{a}	4/03±0/05^{ab}	3/93±0/05^{bc}	3/75±0/05^{c}
	پروبیوتیک	4/04±0/1^{a}	3/96±0/2^{a}	4/00±0/1^{a}	3/73±0/05^{b}	3/56±0/05^{b}
پذیرش کلی	غیرپروبیوتیک	4/13 ±0/05^{a}	4/13±0/05^{a}	4/10±0/00^{a}	3/93±0/05^{b}	3/83±0/05^{c}
	پروبیوتیک	4/13±0/05^{a}	4/10±0/00^{a}	4/00±0/00^{b}	3/93±0/05^{b}	3/83±0/05^{c}

حروف غیر یکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (p =0/05) در هر سطر می باشد.

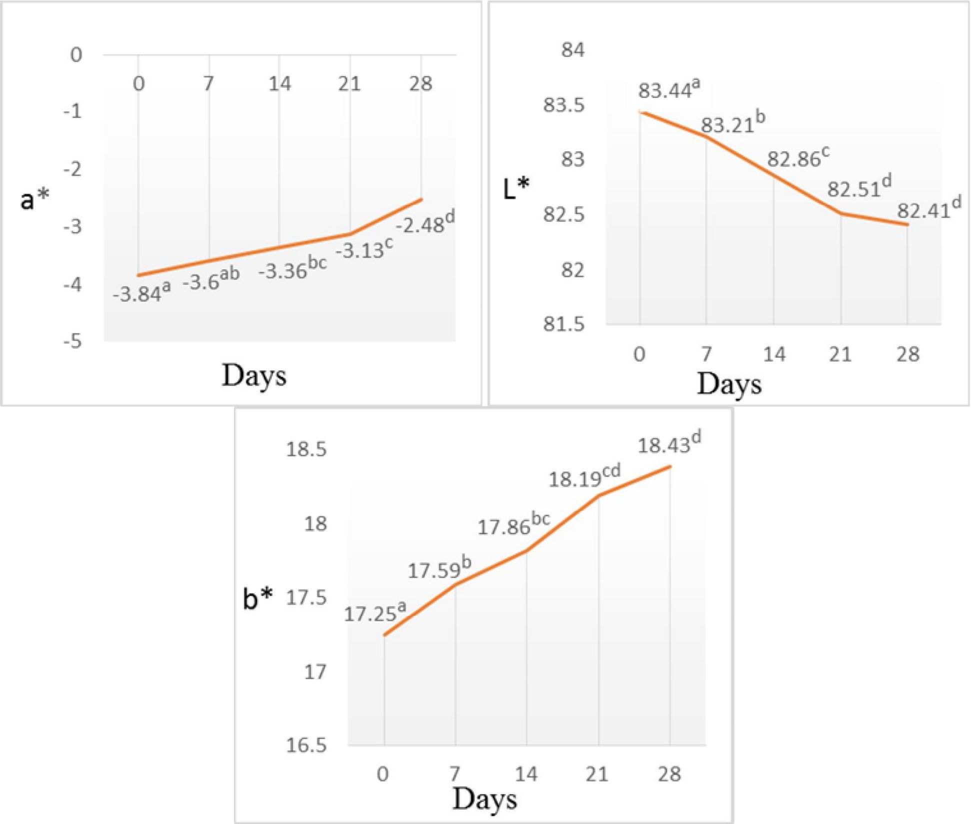


شکل 1- بقای *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در طول نگهداری نوشیدنی لیمویی پروبیوتیک

آزمون رنگ در نوشیدنی لیمویی پروبیوتیک بر پایه تراوه

برای بررسی میزان تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های رنگی مواد غذایی از اصلاح پارامترها یا شاخص‌های رنگی استفاده می‌شود. نتایج تجزیه واریانس در شکل 2 نشان داده شده است. بررسی نتایج آزمون

رنگ در نوشیدنی با طعم لیمو نشان می‌دهد که در اثر نگهداری نوشیدنی فاکتور *a و *b افزایش یافته و فاکتور*L نیز کاهش می‌یابد که دلیل آن تجزیه یا تغییر رنگدانه‌های موجود در نمونه‌های غذایی است (Koca *et al,* 2003). Sharma و همکاران (2004) با بررسی تأثیر دما و میزان قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی بر خواص فیزیکوشیمیایی کنسانتره لیمو در طول نگهداری 9 ماهه گزارش نمودند که با گذشت زمان نگهداری میزان قهوه‌ای شدن افزایش و مقادیر قند، آسکوربیک اسید، آمینواسید، فنل و کیفیت رنگ نوشیدنی کاهش می یابد. Martín-Diana و همکاران (2009) نیز کاهش رنگ آب‌میوه طی مدت زمان نگهداری را به ته‌نشین شدن ذرات ناپایدار و همچنین تجزیه رنگدانه‌ها از جمله آنتوسیانین‌ها نسبت دادند.



شکل 2- تأثیر زمان نگهداری بر مقادیر ویژگی‌های رنگ *L، *a و *b نوشیدنی لیمویی پروبیوتیک

نتیجه‌گیری

با وجود کاربرد متعدد تراوه در صنایع مختلف به‌ویژه صنایع غذایی و دارویی، بخش قابل توجهی از تراوه بویژه در مناطقی که امکان فراوری آن وجود ندارد به فاضلاب راه پیدا می‌کند که این امر سبب بروز مشکلات زیست محیطی فراوان می‌گردد. بنابراین با تبدیل تراوه تازه به محصولاتی نظیر نوشیدنی‌های پروبیوتیک به روشی ساده می‌توان از هدر رفت این محصول با ارزش جلوگیری نمود و فراورده‌ای ارزان قیمت با خواص تغذیه‌ای بالا را در اختیار عموم مصرف‌کنندگان قرار داد. برای این منظور تحقیق حاضر در دو مرحله انجام پذیرفت و پس از بهینه سازی فرمولاسیون نوشیدنی لیمویی به روش سطح پاسخ، محصول به شکل پروبیوتیک تولید گردید و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و میکروبی آن طی مدت 4 هفته نگهداری در دمای یخچال ارزیابی گردید. نتایج مرحله اول حاکی از تأثیر معنی‌دار متغیرها (تراوه، آب و کنسانتره) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، اسیدیته، بریکس و ماده خشک) و ویژگی‌های حسی (مزه، بو، پس مزه، رنگ و پذیرش کلی) بود. نتایج حاصل از بهینه‌سازی با طرح مرکب مرکزی نشان داد که بهترین خصوصیات زمانی حاصل می‌شود که فرمولاسیون نوشیدنی شامل 50/63 ml آب، 30 ml تراوه و 10/67 g کنسانتره لیمو باشد. در مرحله دوم، نوشیدنی بهینه به دو شکل پروبیوتیک و غیرپروبیوتیک تولید شد و ویژگی‌های

فیزیکوشیمیایی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، خواص حسی و کیفیت میکروبی آن طی 28 روز نگهداری بررسی گردید. تغییرات ماده خشک و بریکس نوشیدنی در طی نگهداری معنی‌دار نبود اما امتیازات حسی و pH در طی نگهداری کاهش یافت. نوشیدنی لیمویی تهیه شده پس از تولید حاوی 20/13 mg/100g فنل کل، 1/11 µmol/g خاصیت آنتی‌اکسیدانی بر حسب ترولکس و 2/53µmol/g بر حسب آهن II (Frap) و 17/26 mg/100g ویتامین C بود. مقادیر فنل، ترولکس، Frap و ویتامین C پس از 28 روز نگهداری به‌ترتیب 35/5، 26/12، 29/24 و 51/79 درصد کاهش نشان داد. نتایج ارزیابی آزمون رنگ نیز بیانگر افزایش فاکتور *a، *b و کاهش فاکتور *L طی مدت نگهداری بود. با این وجود نوشیدنی پروبیوتیک لیمویی از کیفیت حسی و میکروبی بالایی در پایان مدت 28 روز نگهداری برخوردار بود و زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در آن 6/95 log cfu/ml و بیش از حد استاندارد تعریف شده برای محصولات پروبیوتیک ($>10^6$ cfu/ml) بود.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد می‌باشد و نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان بابت حمایت مالی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

جوکار، ا.، گلمکانی، م.، کرباسی، ا.، 1385، نوشیدنی شکلاتی تهیه شده از شیر، تراوه شیر فراپالیده و شهد خرما. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 10(4)، 433-427.

محبی، م.، و نجفی، م. ب. ح.، 1383، بهینه سازی شرایط تولید، ماندگاری و کیفیت نوشیدنی میوه ای آب پنیر، مجله علوم و صنایع کشاورزی، 18(2)، 1-10.

AOAC., 2005, Official Methods of Anaiysis. 14th ed., Association of Official Analytical Chemists.

Bayarri, S., Calvo, C., Costell, E. & Durán, L., 2001, Influence of storage on sensory evaluation of fruit drinks. *Food Science and Technology International*, 7(5), 399-404.

Beucler J., Drake, M. & Foegeding, E.A., 2005, Design of a beverage from whey permeate. *Journal of Food Science*, 70(4), S277-S285.

Bylund, G., 2003, Dairy processing handbook, Lund: *Tetra Pak Processing Systems* AB, 9-12.

Cesar, R.S., Jose, A.S., Carol, H.C. & Pedro, L.O., 1999, Ascorbic Acid as a Standard for Iodometric Titrations. An Analytical Experiment for General Chemistry. *Journal of Chemistry Education*, 76 (10), 121-125.

Cliff, M.A., Fan, L., Sanford, K., Stanich, K., Doucette, C. & Raymond, N., 2013, Descriptive analysis and early-stage consumer acceptance of yogurts fermented with carrot juice. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4160-4172.

Di Lena, M., Quero, G. M., Santovito, E., Verran, J., De Angelis, M., & Fusco, V., 2015, A selective medium for isolation and accurate enumeration of Lactobacillus casei-group members in probiotic milks and dairy products. *International Dairy Journal*, 47, 27-36.

Dragalic,I.,Tratnik, L., & Bozanic, R., 2005, Growth and survival of probiotic bacteria in reconstituted whey. Lait INRA, EDP Sciences, 85(1), 171-179.

Floch MH, 2014, Recommendations for Probiotic Use in Humans. *Pharmaceuticals*, 7(10), 999-1007.

Garcia, H., Hernandez, A., Robles, V., Angulo, J. O., & De La Cruz-Medina, J., 2002, Preparation of a whey-based probiotic product with Lactobacillus reuteri and Bifidobacterium bifidum. In 2002 Annual Meeting and Food Expo-*Anaheim*, California.

Gironés-Vilaplana, A., Mena, P., García-Viguera, C., & Moreno, D. A., 2012a, A novel beverage rich in antioxidant phenolics: Maqui berry (*Aristotelia chilensis*) and lemon juice. LWT-*Food Science and Technology*, 47(2), 279-286.

Gironés-Vilaplana, A., Valentão, P., Andrade, P. B., Ferreres, F., Moreno, D. A., & García-Viguera, C., 2012b, Phytochemical profile of a blend of black chokeberry and lemon juice with cholinesterase inhibitory effect and antioxidant potential. *Food chemistry*, 134(4), 2090-2096.

Holsinger, V. H., Posati, L. P., & DeVilbiss, E.D., 1974, Whey beverages: A review. *Journal of Dairy Science*, 57(8), 849-859.

İçier, F., Gündüz, G. T., Yılmaz, B., & Memeli, Z., 2015, Changes on some quality characteristics of fermented soy milk beverage with added apple juice. LWT-*Food Science and Technology*, 63(1), 57-64.

Jaworska, G., Pogoń, K., Klimek, M. & Gwóżdź, E., 2014, Quality changes of blackcurrant nectar under different storage conditions. *Journal of Life Sciences Research*, 1(1), 16-20.

Kabasakalis, V., Siopidou, D. & Moshatou, E., 2000, Ascorbic acid content of commercial fruit juices and its rate of loss upon storage. *Food Chemistry*, 70(3), 325-328.

Klimczak, I., Małecka, M., Szlachta, M. & Gliszczyńska-Świgło, A., 2007, Effect of storage on the content of

polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of lemon juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3), 313-322.
Koca, N., Burdurlu, H.S. & Karadeniz, F., 2003, Kinetics of nonenzymatic browning reaction in citrus juice concentrates during storage. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 353–360.
Kop-Hoolihan, L., 2001, Prophylactic and therapeutic role of probiotics: A review. *Journal of the American Dietetic Association*, 101(2), 229-41.
Krishnaiah, N., Reddy, C.R., Sastry, P.M. & Rao, M.R., 1989, Studies on the keeping quality of whey beverage. Asian *Journal of Dairy Research*, 42(1), 97-102.
Leiva, M.H.L. & Guzman, M., 1995, Formation of oligosaccharides during enzymic hydrolysis of milk whey permeates. *Process Biochemistry*, 30(8), 757-762.
Majumdar, T.K., Wadikar, D.D., Vasudish, C.R., Premavalli, K.S. & Bawa, A.S., 2011, Effect of storage on physico-chemical, microbiological and sensory quality of bottlegourd-basil leaves juice. *American Journal of Food Technology*, 6(3), 226-234.
Marhamatizadeh, M , H., Ehsandoost, E., Gholami, P., Moshiri, H., & Nazemi, M., 2012, Effect of permeate on growth and survival of Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium bifidum for production of probiotic nutritive beverages. *World Applied Sciences Journal*, 18(10), 1389-1393.
Martín-Diana, A.B., Rico, D., Barat, J.M. & Barry-Ryan, C., 2009, Orange juices enriched with chitosan: Optimisation for extending the shelf-life. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 590-600.
Meilgaard, M.C., Carr, B.T., & Civille, G.V., 2006, *Sensory Evaluation Techniques*. CRC press.
Miller, N.J. & Rice-Evans, C.A., 1997, The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink. *Food Chemistry*, 60, 331–337.
Mohamed, A.G., Abbas, H.M. & Zayan, A.F., 2014, Physicochemical and Microbiological Properties of Papaya Functional Beverages Based on Sweet Cheese Whey. *Life Science Journal*, 11(3), 257-263.
Mortazavian, A.M., Ehsani, M.R., Mousavi, S.M., Rezaei, K., Sohrabvandi, S. & Reinheimer, J.A., 2007, Effect of refrigerated storage temperature on the viability of probiotic micro-organisms in yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 60(2), 123-127.
Özkan, M., Kırca, A. & Cemeroğlu, B., 2004, Effects of hydrogen peroxide on the stability of ascorbic acid during storage in various fruit juices. *Food chemistry*, 88(4), 591-597.
Panesar, P.S., Kennedy, J.F., Gandhi, D.N. & Bunko, K., 2007, Bioutilisation of permeat for lactic acid production. *Food Chemistry*, 105(1), 1-14.
Pescuma, M., Hébert, E.M., Mozzi, F. & De Valdez, G.F., 2010, Functional fermented whey-based beverage using lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 141(1), 73-81.
Piljac-Žegarac, J., Valek, L., Martinez, S. & Belščak, A., 2009, Fluctuations in the phenolic content and antioxidant capacity of dark fruit juices in refrigerated storage. *Food Chemistry*, 113(2), 394-400.
Prasanna, P.H.P., Grandison, A.S. & Charalampopoulos, D., 2014, Bifidobacteria in milk products: An overview of physiological and biochemical properties, exopolysaccharide production, selection criteria of milk products and health benefits. *Food Research International*, 55, 247-262.
Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C., 1999, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231-1237.
Rybka, S. & Kailasapathy, K., 1997, Effect of freeze drying and storage on the microbiological and physical properties of AB-yoghurt. *Milchwissenschaft*, 52(7), 390-394.
Saccaro, D.M., Tamime, A.Y., Pilleggi, A.L.O. & Oliveira, M.N., 2009, The viability of three probiotic organisms grown with yoghurt starter cultures during storage for 21 days at 4 C. *International Journal of Dairy Technology*, 62(3), 397-404.
Sampedro, F., Geveke, D.J., Fan, X., Rodrigo, D. & Zhang, Q.H., 2009, Shelf-life study of an orange juice–milk based beverage after PEF and thermal processing. *Journal of Food Science*, 74(2), 107-112.
Sanders, M.E., 2003, Probiotics: considerations for human health. Nutrition Reviews-Washington, 61(3), 91-100.
Sharma, S.K., Kausha, B.B.L. & Sharma, P.C., 2004, Effect of temperature and removal of amino acids on non-enzymatic browning of lemon juice concentrates during storage. *Journal of Scientific and Industrial* Research, 63, 444-451.
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.
Singleton, V.L. & Rossi, J.A., 1965, Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
Sinha, R., Radha, C., Prakash, J. & Kaul, P., 2007, Whey protein hydrolysate: Functional properties, nutritional quality and utilization in beverage formulation. *Food Chemistry*, 101(4), 1484-1491.
Sodini, I., Mattas, J. & Tong, P.S., 2006, Influence of pH and heat treatment of whey on the functional properties of whey protein concentrates in yoghurt. *International Dairy Journal*, 16(12), 1464-1469.
Song, F.L., Gan, R.Y., Zhang, Y., Xiao, Q., Kuang, L. & Li, H.B., 2010, Total phenolic contents and antioxidant

capacities of selected Chinese medicinal plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(6), 2362-2372.

Su, M.S. & Chien, P.J., 2007, Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (Vaccinium ashei) fluid products as affected by fermentation. *Food Chemistry*, 104(1), 182-187.

Wojdyło, A., 2009, Effects of blackcurrant and apple mash blending on the phenolic contents, antioxidant capacity, and colour of juices. Czech *Journal of Food Sciences*, 27(5), 338-351.

Yam, K.L. & Papadakis, S.E., 2004, A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 137-142.

Ye, A., Edwards, P.J.B, Gilliland, J., Jameson, G.B. & Singh, H., 2012, Temperature-dependent complexation between sodium caseinate and gum Arabic. *Food Hydrocolloids*, 26, 82-88.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 830-843

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 843-830

Optimization and investigation on physicochemical, sensory and microbial quality of permeate-based probiotic lemon beverage

R. A. Khamirian[1], H. Jooyandeh[2*], J. Hesari[3], H. Barzegar[4]

Received: 2015.11.21
Accepted: 2016.02.27

Introduction: Nowadays an increasing demand for whey products particularly whey protein concentrate (WPC) and whey protein Isolate (WPI) resulted in considerable amount of permeates production, which its rejection causes environmental pollution. The bioconversion of whey and permeate is an appealing procedure regarding to human nutrition, particularly for its functional properties. Functional foods are foodstuffs, which have specific functions in the human, resulting health benefits besides energy and nutrients. Fermented dairy products containing probiotic bacteria are group of functional foods, which have received increasing attention in recent years, including the development of the market with large commercial and research interests. Production of probiotic beverages from permeate could be considered as a simple solution to prevent permeate rejection and produce an economical product with appropriate functional properties. Definitely, dairy products are the foremost vehicle for probiotic supplementation. However, other nondairy probiotic products such as fruit and vegetable juices have been shown to afford health benefits. Therefore, the aim of this study was optimizing formulation of permeate-based lemon juice beverage and producing probiotic beverage from optimized beverage.

Materials and methods: Based on primary experiments, lemon juice beverages containing permeate were produced with different concentrations of water (19.77, 30, 45, 60, and 70.22 ml), permeate (12.95, 30, 55, 80 and 97.04 ml) and *LEMON* juice concentrate (5.95, 8, 11, 14, and 16.04 g). To estimate the impact of these independent variables and determination of optimized sample (non-probiotic beverage), response surface methodology (RSM) founded on central composite design (CCD) was applied. According to CCD design, 20 tests with six replicates as the center points were performed. Quadratic polynomial model were considered for the relationship between the predicted responses with the independent variables. The optimization was performed based on physicochemical (pH, acidity, total solids and brix) and sensory (taste, color, odor, after taste and total acceptability) characteristics of beverage samples. At the second stage, the best sample was inoculated with *Lactobacillus acidophilus* (La5) and its physicochemical properties, antioxidant capacity, sensory attributes and probiotic cell count were monitored during a 28-day storage period under refrigerator temperature (4°C).

Results and discussion: The results showed that all fixed factors, i.e. amount of water, permeate and lemon juice concentrate, had significant impacts on the physicochemical and sensory properties of lemon juice-permeate beverages. By increasing the amount of water up to 45 ml, permeate up to 55 ml and lemon juice concentrate up to 11 g in the formulation, the taste, after taste and total acceptability scores were significantly ($p<0.05$) increased while addition of these components at the higher levels were adversely reduced the sensory attributes of lemon beverages. Also, as the amount of water and permeate enhanced, the values of acidity, brix, total solids, odor and total acceptability were decreased and pH increased. The determination coefficients (R^2) and the adjusted determination coefficients (adj- R^2) for all the characteristics except color were above 0.9. This revealed that the model was valid and the fitted model could explain more than 90 percent of the variation. Furthermore, correlation between the experimental values and predicted values were significant. Based on RSM results, formulation of *LEMON* juice was optimized based on 50.63 ml water, 30ml permeate and 10.67 g lemon juice concentrate, respectively. During storage at standard chiller temperature (4°C), the pH values and sensory scores of lemon-permeate beverage samples was decreased, but brix and dry matter didn't changed significantly ($p>0.05$). Furthermore, the amount of total phenolic compounds, Trolex, Frap and vitamin C of probiotic permeate lemon juice at the beginning of storage were recorded as 20.13mg/100 g, 1.11μmol/g, 2.53 μmol/g and 17.26 mg/100g, respectively. However, after 28 days storage all these values reduced significantly ($p<0.05$) and

1, 2 and 4. MSc student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz
(∗ Corresponding author: hosjooy@yahoo.com)

reached to values 12.98 mg/100 g for total phenol, 0.82 µmol/g for Trolex, 1.79 µmol/g for Frap and 8.32 mg/100g for vitamin C. The results related to the color values of lemon beverages showed that during the storage period a* and b* values enhanced while l* value reduced meaningfully ($p<0.05$). This may be due to chemical reactions such as non-enzymatic browning, sedimentation of instable/fine particles and color degradation.

Our study showed that both probiotic and non-probiotic lemon-permeate beverages presented satisfactory acceptability and optimal physicochemical properties at the beginning until the end of 28 days' storage period. Furthermore, although the count of probiotic bacteria, i.e. *lactobacillus acidophilus* La5 in the probiotic lemon beverage during the storage considerably declined (nearly 3 logcfu/ml), but it was nearly still more than minimum count of 7 logcfu/ml recommended by the international legislations. Consequently, by utilization of permeate in the formulation of lemon or other probiotic fruit juice beverages, a pleasing functional food with an economical price can be produced.

Keywords: Permeate, Probiotic bacteria, Lemon juice beverage, Response surface methodology.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 844-857

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 857-844

بکارگیری *لاکتوباسیلوس‌روتری* در تهیه نان پروبیوتیک بخش 1: ارزیابی فرآیند ریزپوشانی به روش بسترشناور بر زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس‌روتری* در شرایط شبیه‌سازی شده معده

لیلا زاغری[1]- علیرضا بصیری[2*]- سمیه رحیمی[2]- علی زنوزی[3]

تاریخ دریافت: 1395/03/29
تاریخ پذیرش: 1395/09/28

چکیده

کاهش زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در طول فرآوری، نگهداری و هم‌چنین تحت تاثیر شرایط اسیدی معده، مهم‌ترین محدودیت در تولید فرآورده‌های پروبیوتیک به‌شمار می‌آیند. فناوری ریزپوشانی با محافظت از باکتری‌ها در برابر شرایط نامساعد محیطی، می‌تواند باعث افزایش زنده‌مانی گردد. در این تحقیق از فن‌آوری بستر شناور، به‌منظور تولید میکروکپسول‌های پوسته و هسته، حاوی *لاکتوباسیلوس‌روتری* استفاده شد. منحنی رشد بدست‌آمده نشان داد که باکتری‌ها 16 تا 18 ساعت پس از تلقیح وارد فاز ثابت رشد شده و آماده جداسازی توده سلولی از محیط کشت، می‌باشند. بررسی اثرات دمای هوای ورودی و نسبت باکتری به قندها در فرمولاسیون، نشان داد که زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) در دمای 37 درجه سانتی‌گراد و در نسبت برابر قند و باکتری (10-10) به‌طور معنی‌داری (P≤0/05) افزایش نشان می‌دهد. زنده‌مانی نسبی باکتری‌های جذب شده در ماتریس هسته، قبل و پس از پوشش‌دهی در دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور با محلول‌های شلاک در سه غلظت 16، 17 و 18 درصد (وزنی/ حجمی) و آلژینات سدیم در غلظت‌های 0/5، 1 و 1/5 درصد (وزنی/ حجمی)، کاهش معنی‌داری (P≤0/05)، نشان نداد. زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پوشش‌دهی شده با محلول آلژینات سدیم با غلظت 1 درصد (وزنی/ حجمی) پس از طی دوره زمانی 1 ساعت در شرایط شبیه‌سازی شده معده با pH=2، به‌طور معنی‌داری (P≤0/05) نسبت به پوشش‌های دیگر افزایش نشان داد.

واژه‌های کلیدی: *لاکتوباسیلوس‌روتری*، ریزپوشانی، پوشش‌دهنده بسترشناور، شرایط شبیه‌سازی شده معده

مقدمه

با افزایش سطح آگاهی جامعه نسبت به نقش تغذیه در ارتقا سلامت، تقاضا برای مصرف غذاهای فراسودمند افزایش یافته است. گردش مالی بازار جهانی فرآورده‌های پروبیوتیک در سال 2014، 32/6 میلیارد دلار بود که رشد سالیانه‌ای بالغ بر 7 درصد نشان می‌دهد (Reid, 2015). پروبیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که در غلظت مناسب با تعدیل فلور میکروبی روده، اثرات سلامت‌بخشی را بر روی میزبان اعمال می‌کنند. در بین پروبیوتیک‌ها، باکتری‌های تولیدکننده لاکتیک اسید شامل گونه‌های *لاکتوباسیلوس* و *بیفیدوباکتر، بیش از* همه مورد توجه قرار دارند. باکتری‌های پروبیوتیک برای ایجاد اثرات سلامت‌بخش خود، باید به‌صورت زنده و فعال به تعداد کافی (CFU/gr) 10^6-10^7 به روده انتقال یابند که معمولا تعداد زیادی از این باکتری‌ها در هنگام عبور از معده و در مواجهه با شرایط اسیدی و غلظت بالای نمک‌های صفراوی از بین می‌روند. از فناوری ریزپوشانی می‌توان به‌منظور کنترل رهایش، افزایش زنده‌مانی و هم‌چنین حفظ ساختار باکتری‌ها در حین عبور از معده و قبل از انحلال در روده استفاده نمود. در روش رایج ریزپوشانی، باکتری‌های پروبیوتیک در یک ژل‌ماتریس از ترکیبات طبیعی همانند آلژینات، ژلان و کاراگینان محصور می‌گردد. محدودیت اصلی این روش، پایداری پایین باکتری‌ها و هم‌چنین عدم سهولت بکارگیری میکروکپسول‌ها در فرمولاسیون‌های غذایی به‌ویژه در ظرفیت‌های بالای تولید می‌باشد. ماتریس‌های شیشه‌ای که با استفاده از فناوری‌هایی مانند خشک‌کردن پاششی، انجمادی و یا بستر شناور بدست می‌آیند، می‌توانند جایگزین مناسبی برای ژل‌ماتریس‌ها باشند (Semyonov *et al*., 2010; Stephan *et al*., 2007). شل و بیرمن (2014) از شلاک و پروتئین آب‌پنیر شیرین برای ریزپوشانی

1و 2- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.
3- استادیار گروه مهندسی زراعی، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران
(* - نویسنده مسئول: Email: bassiri@irost.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.56856

لاکتوباسیلوس‌روتری با استفاده از پوشش‌دهنده بستر شناور استفاده و نشان دادند که ریزپوشانی با ترکیبات مورداستفاده منجر به افزایش زنده‌مانی نسبی باکتری‌ها در شرایط شبیه‌سازی شده معده می‌گردد. استامر و همکاران (2010)، باکتری *لاکتوباسیلوس‌روتری* را یک‌بار با محلول شلاک و گلیسرول و بار دیگر با محلول شلاک و آلژینات سدیم با نسبت‌های 95 و 5 درصد و با استفاده از دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور، ریزپوشانی و زنده‌مانی نسبی باکتری پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده، بررسی‌کردند. زنده‌مانی نسبی باکتری پس از طی دوره زمانی در محیط شبیه‌سازی شده اسید معده، با محلول شلاک- گلیسرول و شلاک- آلژینات سدیم، به‌ترتیب 41 درصد و 0/14 درصد بود. ماندل و همکاران (2006)، باکتری *لاکتوباسیلوس‌کازئی* را در غلظت‌های مختلفی از آلژینات (2، 3 و4 درصد) به روش امولسیون، ریزپوشانی و زنده‌مانی باکتری را پس از طی دوره زمانی (1-3 ساعت) در شرایط شبیه‌سازی شده معده بررسی‌کردند. نتایج بررسی نشان داد که افزایش غلظت آلژینات منجر به افزایش زنده‌مانی باکتری ریزپوشانی شده می‌گردد. لی و هیو (2000)، باکتری *بیفیدوباکتریوم‌لانگوم* را با آلژینات سدیم در غلظت‌های 2، 3 و 4 درصد با روش امولسیون، ریزپوشانی‌کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت آلژینات سدیم و اندازه قطر میکروکپسول‌ها، زنده‌مانی باکتری پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده، افزایش می‌یابد. گراف و همکاران (2007)، مخمر *ساکارومایسس‌بولاردی* را با آلژینات سدیم با غلظت 2 درصد (وزنی/ حجمی) به روش امولسیون ریزپوشانی کردند. میزان زنده‌مانی باکتری پس از طی دوره زمانی 1 ساعت در شرایط اسیدی با pH =1/2 برابر با 13/3 درصد بود. سابیخی و همکاران (2010)، باکتری *لاکتوباسیلوس‌اسیدوفیلوس* را با آلژینات سدیم با غلظت 4 درصد (وزنی/ حجمی) و نشاسته ذرت با غلظت 2 درصد (وزنی/ حجمی) به روش امولسیون ریزپوشانی کردند. میزان زنده‌مانی باکتری پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده در نمونه‌های ریزپوشانی‌شده 1/71 سیکل لگاریتمی و در نمونه شاهد 4/94 سیکل لگاریتمی، کاهش یافت. سلتانا و همکاران (2000)، باکتری *لاکتوباسیلوس‌اسیدوفیلوس* را با آلژینات سدیم با غلظت 2 درصد (وزنی/ حجمی) و 2 درصد نشاسته ذرت (ترکیب پری‌بیوتیک) به روش امولسیون ریزپوشانی‌کردند. میزان زنده‌مانی باکتری پس از طی دوره زمانی 3 ساعت در شرایط اسیدی با pH =2، 5 سیکل لگاریتمی کاهش یافت.

هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی فن‌آوری ریزپوشانی هسته- پوسته با استفاده از دو پوشش آلژینات سدیم و شلاک، بر زنده‌مانی باکتری *لاکتوباسیلوس‌روتری* در شرایط شبیه‌سازی شده معده (pH =2) به روش بسترشناور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این تحقیق شامل مالتودکسترین $C_{6n}H_{(10n+2)}O_{(5n+1)}$ (DE=3) و سوربیتول $C_6H_{14}O_6$، آلژینات سدیم $C_6H_9NaO_7$ و پپسین از شرکت سیگما- آلدریچ (آلمان)، کلرید سدیم، اسید کلریدریک و پودر شیر پس‌چرخ از شرکت مرک (آلمان)، شلاک $C_{30}H_{50}O_{11}$ از شرکت آکواگلد (آلمان)، میکروکریستالین سلولز $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Avicel ph-20) از شرکت اف‌ام‌سی بیوپلیمر (بلژیک)، محیط کشت MRS آگار و براث از شرکت تیتان بیوتک (هندوستان)، سرم رینگر و محلول کلرید سدیم از شرکت داروسازی ثامن (ایران) و باکتری *لاکتوباسیلوس‌روتری* (PTCC -1655) به‌صورت کشت زنده، از مرکز منطقه‌ای میکروارگانیسم‌های صنعتی (ایران) تهیه شدند.

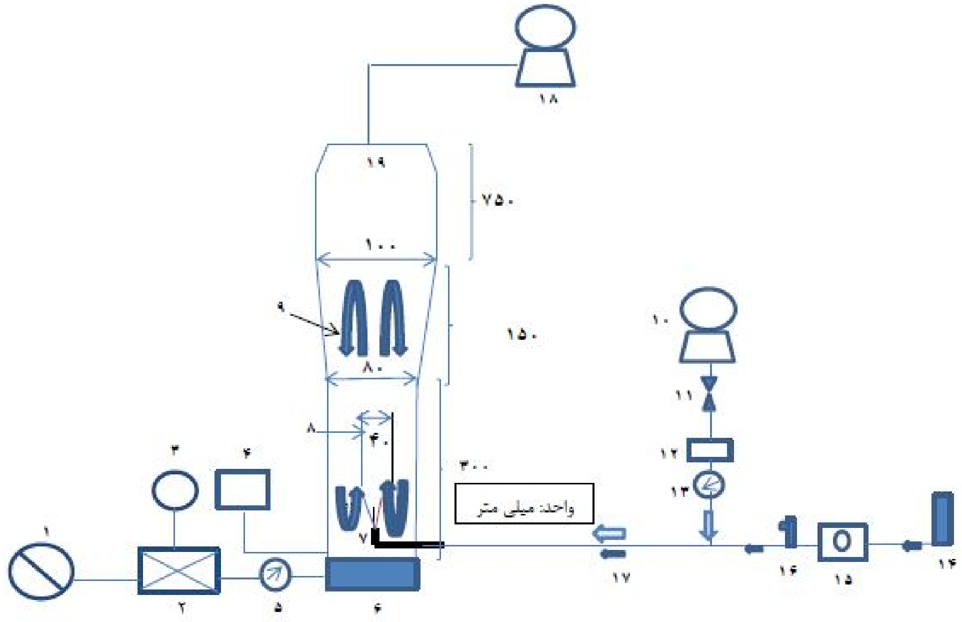
تعیین منحنی رشد

به‌منظور رسم منحنی رشد باکتری *لاکتوباسیلوس‌روتری*، جذب نوری در طول موج 600 نانومتر در طول مدت کشت در مقایسه با محیط کشت اولیه بر اساس جدول مک‌فارلند در اسپکتروفتومتر 25 (Prekin UV/VIS، ایالات متحده آمریکا) خوانده شد. کشت زنده *لاکتوباسیلوس‌روتری* به میزان 1 گرم به 100 میلی‌لیتر محیط کشت MRS براث افزوده و به مدت 18-24 ساعت در دمای 37 درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد. تکثیر سلولی با واکشت سلول‌های فعال‌شده به میزان 10 درصد (100 میلی‌لیتر پری‌کالچر در 1000 میلی‌لیتر محیط کشت تازه MRS براث) انجام شد و به مدت 36-48 ساعت در دمای 37 درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد (Sinha *et al*., 2001). از محلول شیر پس‌چرخ برای کاهش آسیب برودتی به سلول‌ها در مرحله انجماد، استفاده شد. پودر شیر پس‌چرخ به میزان 10 درصد (وزنی/ حجمی) به آب مقطر افزوده و به مدت 5 دقیقه در اتوکلاو و در دمای 121 درجه سانتی‌گراد، استریل شد (Meng *et al*., 2007). محیط کشت حاوی توده سلولی با استفاده از سانتریفوژ یخچال‌دار (Beckman J2-21، آلمان) در سرعت 5000 دور در دقیقه به مدت 5 دقیقه سانتریفوژ و توده سلولی ته‌نشین شده از محیط کشت جدا و شیر پس‌چرخ در شرایط استریل، به آن افزوده شد. محیط حاوی سلول‌ها به مدت 12 ساعت در فریزر و در دمای 18- درجه سانتی‌گراد منجمد و در خشک‌کن انجمادی (Haube,300MW، آلمان)، در دمای 20- درجه سانتی‌گراد و به مدت 48 ساعت خشک شد (Marinescu *et al*.,2012).

طراحی و ساخت دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور

دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور با الهام از مدل ورستر (Würster,1959) ساخته شد (شکل1). ستون عمودی پوشش‌دهنده

شامل سه بخش می‌باشد، بخش اول لوله‌ای شیشه‌ای از جنس پلی‌کربنات به قطر 80 میلی‌متر و ارتفاع 300 میلی‌متر و ارتفاع بخش دوم، 150 میلی‌متر می‌باشد. بخش متصل به لوله اول دارای قطر 80 میلی‌متر بوده و سطح داخلی لوله دارای شیب ملایم 15 درجه بوده و عرض لوله در انتهای این بخش، 100 میلی‌متر می‌رسد. طول بخش سوم 750 میلی‌متر است که در انتهای این بخش فیلتر (19) در مسیر هوای خروجی از دستگاه قرار می‌گیرد. در بخش اول (لوله شیشه‌ای) ذرات با سرعت به سمت بالای ستون حرکت می‌کنند و هنگامی که به قسمت دوم دستگاه می‌رسند، سرعت جریان هوا کاهش یافته و ذرات قادر به ادامه حرکت بالارونده خود نبوده و از نواحی کناری داخل ستون به پایین سقوط می‌کنند و به این ترتیب ذرات در ستون دستگاه، شناور باقی می‌مانند (9). لوله میانی (8) به ارتفاع 150 و قطر 40 میلی‌متر در بالای نازل پاششی (7) در وسط استوانه، قرار گرفته شده است. در کف ستون دستگاه، صفحه‌ای مشبک (6) قرار گرفته است که پودر MCC (میکروکریستالین سلولز) روی آن قرار می‌گیرد. قطر روزنه‌های صفحه در مرکز بزرگ‌تر و در اطراف کوچک‌تر می‌باشد، که باعث جهت‌دهی جریان هوای خروجی از فن (1) (BG.903.NMB، چین) و ذرات به سمت مرکز دستگاه (لوله میانی) می‌شود. در اطراف ستون و با فاصله گرفتن از مرکز، سرعت جریان هوا کاهش یافته و امکان برگشت برای پودرهای شناور در بالای دستگاه که بر اثر کاهش فشار به سمت پایین حرکت می‌کنند را فراهم می‌کند. دبی محلول پوششی ورودی (14) با تعبیه یک شیر کنترل جریان (16) (شیر استیل فشار قوی، 6000 psi) در مسیر خروجی پمپ پریستالتیک (15) (Heidolph، آلمان) تنظیم و به کمک جریان هوای کمپرسور باد (10) (صبا، ایران)، فشار لازم برای اتمایزه‌کردن محلول پوششی (17) فراهم گردید.



شکل 1- نمای شماتیک دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور

1- فن 2- هیتر 3- دیمر 4- ترمومتر دیجیتال 5- فشارسنج 6- صفحه پخش هوای ورودی 7- نازل 8- لوله میانی دستگاه 9-مسیر حرکت ذرات 10-کمپرسور 11- شیر کنترل 12- خشک کن هوای خروجی 13- فشارسنج 14- محلول پوششی 15- پمپ پریستالتیک 16- شیر کنترل جریان 17-جریان هوای اتمایزه و محلول پوششی 18- دمنده 19- فیلتر هوای خروجی

آماده‌سازی محلول قندی محافظت‌کننده حرارتی هسته

سرم رینگر تا دمای 93 درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و پس از افزودن قندهای سوربیتول و مالتودکسترین با DE= 3 و با نسبت برابر در غلظت‌های تحت بررسی، در دمای محیط خنک شده و باکتری‌های خشک‌شده در شرایط استریل به آن افزوده شدند. محلول در ظرف شیشه‌ای درب بسته استریل و در انکوباتور با دمای 37 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Semyonove *et al*.,2014).

جذب باکتری بر روی پودر MCC

5 گرم از پودر MCC در بستر پوشش‌دهنده درجریان هوا با فشار 150 میلی‌بار شناور و 5 میلی‌لیتر از محلول حاوی باکتری و قند با غلظت 20 درصد (وزنی/ حجمی)، پاشیده شد. پس از مرحله جذب، زنده‌مانی نسبی باکتری (%) در پودر سنجیده شد (Semyonove *et al*.,2014).

۱۱

شمارش سلول‌های زنده در محلول پروبیوتیک

شمارش سلول‌های زنده در سوسپانسیون اولیه (CFU/ml) با روش کشت سطحی سنجیده شد. 0/5 میلی‌لیتر از محلول پروبیوتیک قند و باکتری برداشته‌و 10 بار نمونه در سرم فیزیولوژی 0/9 درصد کلریدسدیم به حجم 4/5 میلی‌لیتر رقیق شد. مقدار100 میکرولیتر از سریال رقت‌های 7 تا 10 برداشته‌و روی سطح پلیت حاوی محیط کشت MRS آگار در سه تکرار کشت و به مدت 48 ساعت در دمای 37 درجه سانتی‌گراد، گرمخانه‌گذاری شد. نمونه‌هایی حاوی 20 تا 350 کلونی (CFU/ml) شمارش شد (Semyonove *et al*.,2014).

شمارش سلول‌های زنده در پودر MCC پس از جذب محلول باکتری

0/5گرم از پودر MCC (پس از مرحله جذب)، در دمای محیط و در شرایط استریل در فالکون حاوی 4/5 میلی‌لیتر محلول استریل کلریدسدیم 0/9 درصد، آب‌گیری و در شیکر با سرعت 450 دور در دقیقه به مدت 60 دقیقه مخلوط شد. شمارش سلول‌های زنده (CFU/ml) به روش کشت سطحی، سنجیده شد. زنده‌مانی نسبی باکتری‌ها (%) از نسبت تعداد سلول‌های زنده در محلول پروبیوتیک اولیه به تعداد سلول‌های زنده در پودر MCC پس از جذب بدست آمد (Semyonove *et al*.,2014).

بررسی اثرات غلظت باکتری در محلول ورودی بر قدرت زنده‌مانی باکتری

محلول ورودی با غلظت20 درصد (وزنی/ حجمی)، شامل پودر خشک شده انجمادی باکتری *لاکتوباسیلوس روتری* و نسبت برابر قندهای سوربیتول و مالتودکسترین با DE=3 تهیه شد. نسبت‌های تحت بررسی باکتری و قند در جدول 2 آورده شده است. هر محلول به‌صورت مجزا در سه تکرار با سرعت 0/25 میلی‌لیتر بر دقیقه بر روی 5 گرم پودر MCC، شناور در بستر دستگاه با فشار هوای ورودی 150 میلی‌بار و دمای 37 درجه سانتی‌گراد پاشیده شد. آزمون شمارش باکتری‌های زنده در محلول پروبیوتیک اولیه، قبل و پس از جذب روی پودر MCC، انجام شد.

بررسی اثرات دمای هوای شناورسازی بر زنده‌مانی نسبی باکتری

محلول با غلظت 20 درصد باکتری و قند (با نسبت برابر) آماده و در سه دمای 37 ،47 و62 درجه سانتی‌گراد، هر بار 5 میلی‌لیتر از محلول با سرعت جریان 0/25 میلی‌لیتر بر دقیقه بر روی 5 گرم پودر MCC شناور در بستر دستگاه با فشار هوای شناورسازی 150 میلی‌بار، در سه تکرار پاشیده شد. آزمون شمارش باکتری‌های زنده در محلول پروبیوتیک اولیه، قبل و پس از مرحله جذب، انجام شد. دمای جریان هوای ورودی با بیشترین میزان زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) در پودر، به‌عنوان دمای بهینه، انتخاب شد. بعد از انجام آزمون‌های بهینه‌سازی (غلظت باکتری و قند در محلول پروبیوتیک اولیه، سرعت جریان محلول ورودی، میزان فشار هوای خروجی پمپ و دمای هوای شناورسازی در مرحله جذب محلول باکتری و قند بر روی پودر MCC)، محلول باکتری در شرایط بهینه، جذب پودر MCC شد و مراحل پوشش‌دهی بر روی این پودر انجام شد.

اثرات ریزپوشانی بر زنده‌مانی نسبی باکتری در شرایط شبیه‌سازی شده معده

باکتری‌های جذب‌شده بر روی MCC با محلول شلاک در سه غلظت 16، 17 و 18 درصد (وزنی/ حجمی) و آلژینات سدیم در غلظت‌های 0/5، 1 و 1/5 درصد (وزنی/ حجمی) در شرایط بهینه بدست آمده در مرحله جذب، پوشش‌دهی شدند. غلظت باکتری‌های زنده (٪) در پودر پوشش‌دهی شده و پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده، تعیین و غلظت بهینه در ریزپوشانی با شلاک و آلژینات سدیم بر اساس بیشترین زنده‌مانی نسبی (٪) تعیین‌و با هم مقایسه و در نهایت پوشش بهینه برای ریزپوشانی باکتری بدست آمد.

شبیه‌سازی شرایط اسیدی معده

3/2 گرم پپسین با محلول کلرید سدیم 0/5درصد مخلوط و به وسیله اسید کلریدریک 0/1مولار pH آن به 0/5± 1/5 رسانیده شد. محلول اسیدی به حجم یک لیتر رسانیده و به مدت 15 دقیقه در دمای 121 درجه سانتی‌گراد استریل شد (Sanjay *et al*., 2007).

سنجش میزان مقاومت باکتری در شرایط شبیه‌سازی شده معده

برای ارزیابی مقاومت باکتری‌های ریزپوشانی‌شده به شرایط اسیدی، 0/5گرم از میکروکپسول‌ها در فالکون استریل حاوی 4/5 میلی‌لیتر محلول اسیدی، غوطه‌ور و در دمای37 درجه‌سانتی‌گراد به مدت 2ساعت، گرمخانه‌گذاری شد. به‌منظور جداسازی باکتری‌ها، سانتریفوژ با سرعت 10000 دور در دقیقه به مدت 10 دقیقه، انجام شد. 0/5میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و پس از تهیه سریال رقت، کشت سطحی بر روی محیط MRS آگار انجام شد. سپس رسوب حاصل از پودر، (ته‌نشین‌شده در پایین فالکون) توسط میله شیشه‌ای در شرایط استریل، هم‌زده و دوباره در محلول غوطه‌ور گشت، پس از آن در شیکر با سرعت 450 دور در دقیقه، به مدت 1 ساعت برای آزاد سازی بیشتر باکتری قرار داده شد. شمارش باکتری‌ها به روش ذکر شده صورت گرفت. شمارش کل باکتری‌های زنده لاکتوباسیلوس‌روتری شامل، باکتری‌های شناور بر روی سطح محلول و باکتری‌های زنده که از کپسول‌ها آزاد شده‌اند، می‌باشد

(Semyonove *et al*.,2014).

مشاهده مورفولوژی باکتری‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

کپسول‌ها به‌وسیله چسب دو طرفه بر روی صفحه مخصوص دستگاه تثبیت و به مدت 2 دقیقه به‌وسیله طلا پوشش‌دهی شد. مشاهده کپسول‌ها بوسیله میکروسکوپ الکترونی (Mira,Tescan، انگلستان)، با تابش الکترونی 7 کیلوولت انجام پذیرفت.

پوشش شلاک

15 میلی‌لیتر محلول آبی شلاک با غلظت‌های 16، 17 و 18 درصد (وزنی/ حجمی)، شامل 95 درصد محلول شلاک و 5 درصد گلیسرول (پلاستی‌سایزر) آماده و با فشار هوای خروجی پمپ 300 میلی‌بار در دمای 37 درجه سانتی‌گراد با سرعت 0/25 میلی‌لیتر بر دقیقه بر روی گرانول‌های مرحله قبل (پودر MCC حامل باکتری) که با فشار 150 میلی‌بار شناور شده‌اند، پاشیده شد. آزمایشات در هر یک از غلظت‌های تحت بررسی به‌صورت جداگانه و در سه تکرار انجام شدند. پس از هر مرحله، غلظت باکتری‌های زنده (CFU/ml) در پودر پوشش‌دهی شده و غلظت باکتری‌های زنده (CFU/ml) پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی‌شده معده، محاسبه شد و غلظت بهینه برای پوشش شلاک بر اساس بیشترین زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از طی دوره زمانی درشرایط شبیه‌سازی شده معده، تعیین و با هم مقایسه شدند و در نهایت بهترین غلظت برای پوشش شلاک تعیین شد (Stummer *et al*.,2010).

پوشش آلژینات سدیم

15 میلی‌لیتر محلول آبی از آلژینات سدیم با غلظت‌های 0/5، 1 و 1/5 درصد (وزنی/ حجمی) آماده شد. این محلول با فشار هوای خروجی پمپ 300 میلی‌بار در دمای 37 درجه سانتی‌گراد با سرعت 0/25 میلی‌لیتر بر دقیقه بر روی گرانول‌های مرحله قبل (پودر MCC حامل باکتری) که با فشار هوای150 میلی‌بار شناور شده‌اند، پاشیده شد. آزمایشات در هر یک از غلظت‌های تحت بررسی به‌صورت جداگانه و در سه تکرار انجام شدند. بعد از هر مرحله، غلظت باکتری‌های زنده در پودر پوشش‌دهی شده (CFU/ml) و غلظت باکتری‌های زنده (CFU/ml) پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده، محاسبه شد و غلظت بهینه برای پوشش آلژینات سدیم بر اساس بیشترین زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده، تعیین و با هم مقایسه شدند و در نهایت بهترین غلظت برای پوشش آلژینات سدیم بدست آمد (Michael *et al*., 2010).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل یافته‌های تحقیق، به روش تجزیه واریانس یکطرفه (One way ANOVA) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (ویرایش21) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن، انجام شدند.

نتایج و بحث

منحنی رشد باکتری لاکتوباسیلوس‌روتری

باکتری‌ها در زمان ورود به فاز ثابت (پایان مرحله رشد لگاریتمی)، دارای بالاترین مقاومت در برابر تنش‌های محیطی بوده که مناسب‌ترین زمان برای جداسازی توده سلولی از محیط کشت می‌باشد (Meng *et al*., 2007). منحنی رشد باکتری *لاکتوباسیلوس روتری بدست آمده* (شکل 2)، نشان داد که باکتری در 4 ساعت اولیه در فاز تاخیری بوده (بخش اول)، از ساعت پنجم شروع به رشد لگاریتمی کرده (بخش دوم) و از ساعت 16- 18 وارد فاز ثابت رشد (بخش سوم) می‌شود که بر این اساس، زمان 16 تا 18 ساعت پس از تلقیح برای جداسازی توده سلولی از محیط کشت و خشک‌کردن انجمادی بدست آمد. بایان (2008)، منحنی رشد باکتری *لاکتوباسیلوس روتری* (DPC16) را در محیط کشت MRS آگار در دمای گرمخانه‌گذاری 37 درجه سانتی‌گراد، تعیین نمود. نتایج وی نشان‌داد که باکتری به مدت 8-10 ساعت اولیه در فاز تاخیری بوده و سپس وارد فاز رشد شده و پس از 14-16 ساعت، وارد فاز ثابت رشد می‌شود. ولفگنک و همکاران (2000)، منحنی رشد باکتری *لاکتوباسیلوس روتری* (SD2112) را در محیط کشت MRS آگار در دمای گرمخانه‌گذاری 35 درجه سانتی‌گراد، تعیین و نشان دادند که باکتری، پس از 16-18 ساعت وارد فاز ثابت رشد می‌شود. واگنر و همکاران (2012)، منحنی رشد باکتری *لاکتوباسیلوس روتری* (RC-14) را در محیط کشتMRS آگار و در دمای گرمخانه‌گذاری 37 درجه سانتی‌گراد، تعیین و نشان دادند که باکتری، پس از 14 تا 16 ساعت، وارد فاز ثابت رشد می‌شود. نتایج بدست آمده در تحقیقات پیشین، با نتایج این تحقیق همخوانی دارد، تفاوت اندکی که مشاهده می‌شود مربوط به شرایط محیطی و متفاوت‌بودن نوع سویه باکتری مورد آزمایش می‌باشد که بر سرعت رشد تاثیرگذار هستند (Kahm, 2010).

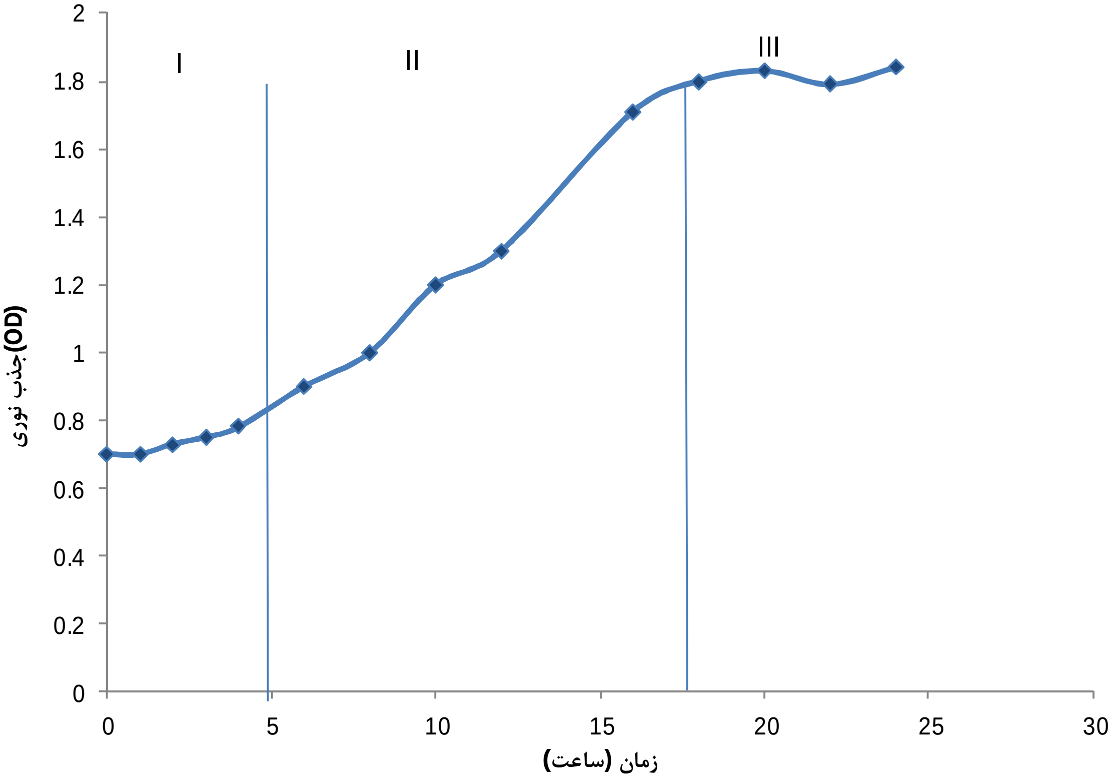
بررسی نسبت‌های مختلف قند و باکتری بر زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از جذب بر روی پودر MCC

هدف از این بخش از آزمایشات تعیین نسبت بهینه قند (مالتودکسترین و سوربیتول) و باکتری در محلول اولیه (جدول 1) به‌گونه‌ای که بیشترین میزان زنده‌مانی نسبی (٪) پس از جذب بر روی پودر، حاصل شود. همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود، زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از جذب

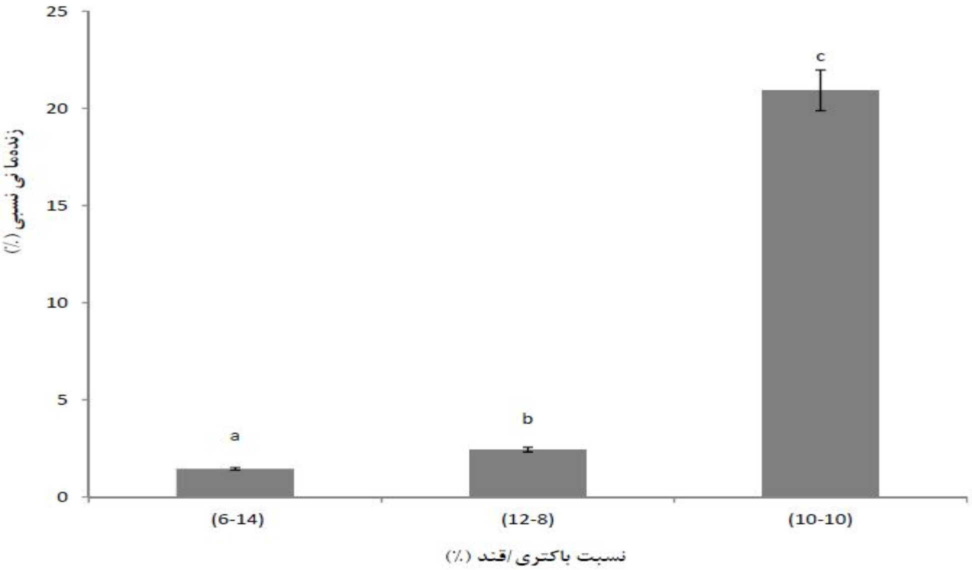
روی MCC در محلول پروبیوتیک اولیه با نسبت برابر قند و باکتری (10^{-10}) به‌طور معنی‌داری (P≤0/05) در مقایسه با دو نسبت دیگر افزایش نشان داد. محلول با نسبت بالاتر قند به باکتری (14 –6)، به علت ایجاد فشار اسمزی بالاتر در محلول پروبیوتیک اولیه، منجر به کاهش معنی‌دار (P≤0/05) در غلظت باکتری‌های زنده (CFU/ml) پس از جذب، در مقایسه با دو نسبت دیگر شد. محلول با نسبت پایین‌تر قند به باکتری (8– 12)، در مقایسه به محلول پروبیوتیک با نسبت مساوی قند و باکتری کاهش معنی‌داری در غلظت باکتری‌های زنده (CFU/ml) پس از جذب نشان داد. که این امر بیانگر این است که غلظت 8 درصد قند قدرت محافظت‌کنندگی مناسبی برای باکتری پروبیوتیک در مرحله جذب فراهم نمی‌کند. بیشینه غلظت باکتری‌های زنده (CFU/ml) در نسبت برابر قند و باکتری (10-10) بدست آمد و به‌عنوان غلظت بهینه قند و باکتری در محلول پروبیوتیک اولیه تعیین شد. سمیونو و همکاران (2014)، اثرات نسبت قند (مالتودکسترین وتره هالوز با نسبت برابر) به باکتری (14- 6 و 8- 12) در ریزپوشانی باکتری *لاکتوباسیلوس‌پاراکازئی* با دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور، بر زنده‌مانی نسبی باکتری پس از جذب بر روی پودر MCC در دمای 47 درجه سانتی‌گراد بررسی نمودند. تفاوت معنی‌داری (P≤0/05) در میزان زنده‌مانی باکتری در محلول ورودی در نسبت‌های تحت بررسی در زمان پوشش‌دهی 40 دقیقه، مشاهده نشد. ولی میزان زنده‌مانی باکتری بعد از 90 دقیقه پوشش‌دهی در نسبت (14- 6)، 25 درصد و در نسبت (8- 12)، 35 درصد بود. نتایج این تحقیق نشان داد که نسبت بالاتر قند به باکتری، منجر به کاهش زنده‌مانی می‌شود که با نتایج بدست‌آمده در این تحقیق همخوانی داشت. کارلیس و همکاران (2012)، باکتری *بیفیدوباکتریوم‌بیفیدوم* را با شیر پس‌چرخ، اینولین و الیگو فروکتوز با دستگاه خشک‌کن پاششی، در دمای ورودی 2 ±150و خروجی 3± 55 درجه سانتی‌گراد ریزپوشانی نمودند. در نسبت برابر قند به باکتری، کاهش معنی‌داری در میزان زنده‌مانی باکتری طی دوره نگهداری 180 روز در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دیده نشد. نتایج این تحقیق نشان داد که نسبت برابر قند به باکتری بیشترین تاثیر محافظت‌کنندگی را دارد. کارتیک (2011)، اثرات نسبت‌های مختلف مالتودکسترین به باکتری در ریزپوشانی باکتری‌های *لاکتوباسیلوس‌اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس‌رامنوسوس* به روش خشک کردن پاششی بر زنده‌مانی نسبی باکتری‌ها (٪) را بررسی‌کردند. زنده‌مانی نسبی باکتری‌ها در نسبت قند به باکتری (2- 1)، 53/65 درصد، در نسبت (3- 2)، 70/39 درصد و در نسبت برابر، 84 درصد حاصل شد. نتایج این تحقیق نشان‌داد که نسبت (1- 1) قند و باکتری، بالاترین زنده‌مانی نسبی باکتری‌های تحت بررسی را تامین می‌نماید. سان تریوارانگا و همکاران (2007)، اثر افزودن سوربیتول به محلول باکتری *لاکتوباسیلوس هلوتیکوس* بر زنده‌مانی نسبی باکتری پس از خشک‌کردن تحت خلا را با نمونه شاهد، مقایسه نمودند. زنده‌مانی نسبی باکتری، همراه با 1 درصد سوربیتول نسبت به نمونه شاهد، افزایش معنی‌داری نشان داد. شل و بیرمن (2014)، اثرات افزودن قندهای سوربیتول و مالتودکسترین در ریزپوشانی باکتری *لاکتوباسیلوس‌روتری* با دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور بر زنده‌مانی نسبی باکتری، بررسی نمودند. زنده‌مانی نسبی باکتری در هنگام افزودن مالتودکسترین 16/66 درصد، سوربیتول 11/98 درصد و در نمونه شاهد، 9/36 درصد بود.

بررسی اثر دماهای تحت بررسی هوای شناورسازی بر زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از جذب روی پودرMCC

هدف از انجام این بخش از آزمایشات بررسی اثرات دماهای تحت بررسی هوای شناورسازی بر زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از جذب روی پودر MCC و تعیین دمای بهینه می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود (شکل 4)، غلظت باکتری‌های زنده (CFU/ml) پس از جذب روی پودر MCC در محلول پروبیوتیک اولیه در دمای ورودی 37 درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری نسبت به دو دمای دیگر افزایش نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، دمای 37 درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای مناسب برای شناورسازی تعیین و عوامل دیگر شامل فشار هوای خروجی پمپ و سرعت جریان محلول ورودی، متناسب با این دما جهت جلوگیری از آگلومره‌شدن پودر انتخاب شد. دمای 37 درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه رشد باکتری *لاکتوباسیلوس روتری* می‌باشد و در طول زمان پوشش‌دهی، خطر آسیب حرارتی، باکتری را تهدید نمی‌کند. سمیونو و همکاران (2014)، تاثیر دو دمای هوای شناورسازی (47 و 62 درجه سانتی‌گراد) را بر زنده‌مانی نسبی (%) *لاکتوباسیلوس‌پارکازئی* پس از جذب بر روی پودر MCC در دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور (Niro 1 ،Pharma Systems -Starea، سوییس)، بررسی کردند. با افزایش دما به میزان 15 درجه سانتی‌گراد از 47 به 62 درجه سانتی‌گراد، میزان زنده‌مانی نسبی باکتری 250 برابر کاهش یافت. در این تحقیق نیز میزان زنده‌مانی نسبی باکتری از 20/6 درصد در دمای 47 درجه سانتی‌گراد به 1/62 درصد در دمای 62 درجه سانتی‌گراد، کاهش یافت. پیار و کوک (2014)، اثرات دمای هوای شناورسازی در ریزپوشانی باکتری *لاکتوباسیلوس‌اسیدوفیلوس* با دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور با پاشش فوقانی (Uni,Glatt، آلمان) بر میزان آگلومره‌شدن و زنده‌مانی نسبی، بررسی نمودند. پوشش‌دهی در دمای 50-60 درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش زنده‌مانی باکتری گردید. پوشش‌دهی در دمای 28-30 درجه سانتی‌گراد منجر به آگلومره‌شدن ذرات شد. دمای 36- 38 درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای بهینه پوشش‌دهی انتخاب شد که در این دما آگلومره‌شدن ذرات رخ نداده و بیشترین میزان زنده‌مانی باکتری حاصل شد که با نتایج بدست‌آمده در این تحقیق همخوانی دارد. استفان (2008)، اثرات دو دمای هوای شناورسازی 37 و 45 درجه سانتی‌گراد بر آگلومره شدن ذرات در ریزپوشانی باکتری پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس‌پلانتاروم* با استفاده از دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور با اسپری تحتانی دو نازله (AMMAG، استرالیا)، بررسی نمودند. در دمای 37 درجه سانتی‌گراد، آگلومره شدن ذرات رخ نداد و به‌همین دلیل نیز به‌عنوان دمای بهینه برای شناورسازی انتخاب شد.

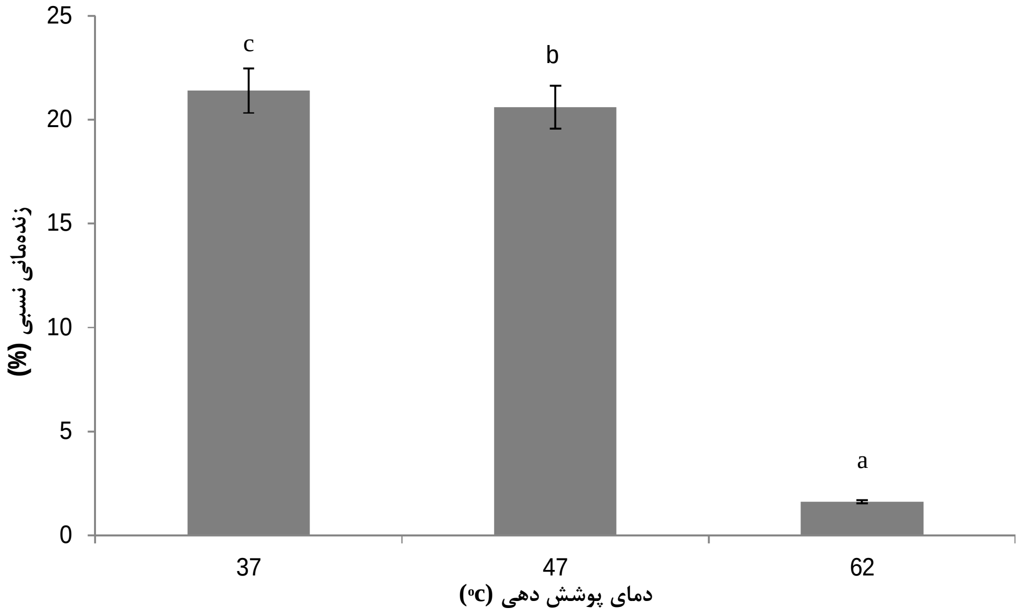


شکل 2- منحنی رشد باکتری *لاکتوباسیلوس‌روتری*



شکل 3: تاثیر نسبت‌های تحت بررسی قند و باکتری بر زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از جذب بر روی پودر MCC

(اعداد بیانگر میانگین سه تکرار آزمایش هستند و حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 می‌باشد).



شکل 4- تاثیر دماهای تحت بررسی هوای شناورسازی بر روی زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از جذب روی پودر MCC

(اعداد نمودار بیانگر میانگین سه تکرار آزمایش هستند وحروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 می‌باشد)

جدول 1- نسبت‌های مختلف قند و باکتری به‌کاررفته در آزمایش

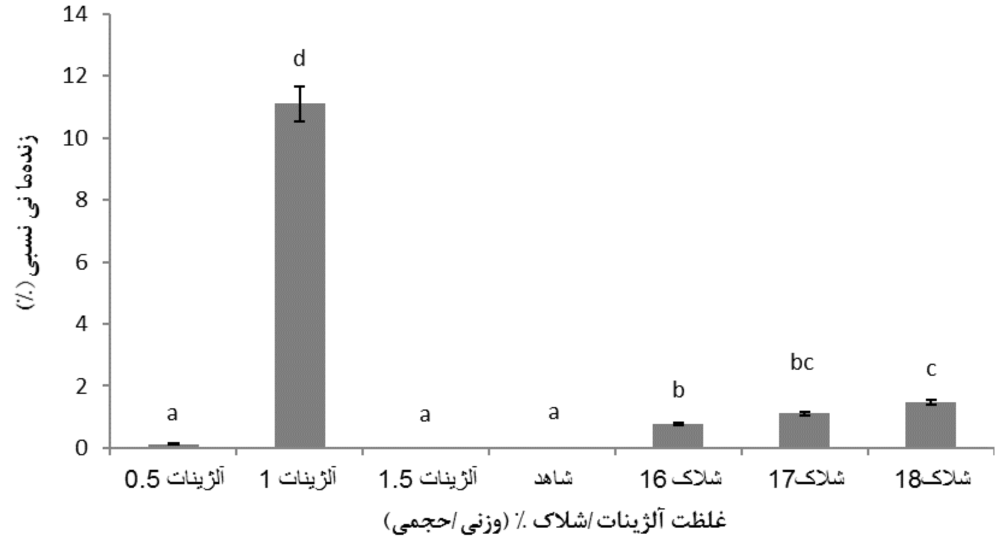
مجموع قندها وزن مجموع قندها در10 میلی‌لیتر محلول پروبیوتیک (g)	پودر باکتری وزن باکتری (g)
8 درصد	12 درصد
0/8 (g) (0/4g سوربیتول و 0/4g مالتودکسترین با DE=3)	1/2(g)
14 درصد	6 درصد
4/ (g) (0/7 g سوربیتول و 0/7 g مالتودکسترین با DE=3)	0/6 (g)
10 درصد	10 درصد
1 (g) (0/5 g سوربیتول و 0/5 g مالتودکسترین با DE=3)	1 (g)

مقایسه اثر غلظت‌های تحت بررسی آلژینات سدیم و محلول شلاک بر زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از طی دوره زمـانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده

در شکل 5، زنده‌مانی نسبی بـاکتری‌هـای ریزپوشـانی شـده بـا آلژینات سدیم و شلاک پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده مقایسه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، زنده‌مانی نسبی باکتری (٪)، در پودر پوشش‌دهی شده با محلول آلژینات سدیم با غلظت 1 درصد (وزنی/ حجمـی) بـه‌طـور معنـی‌داری ($P\leq0/05$) نسبت به پوشش‌های دیگر افزایش نشان می‌دهد. تفاوت معنی‌داری ($P\leq0/05$) در زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با محلول آلژینات سدیم 0/5 و 1/5 درصد در مقایسه بـا نمونـه شاهد پس از طی دوره زمـانی در شـرایط شـبیه‌سـازی شـده معـده، مشاهده نشد. نمونه شاهد، پودر MCC بدون پوشش می‌باشد که تنها محلول حاوی باکتری و قنـد (مالتودکسـترین و سـوربیتول) روی آن جذب شده اسـت. نتـایج بررسـی نشـان داد کـه زنـده‌مـانی نسـبی باکتری (٪) پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معـده با پوشش محلول آلژینات سدیم 0/5 درصد نسبت بـه نمونـه شـاهد افزایش یافته و با افزایش غلظت محلول پوششـی تـا 1 درصـد ایـن افزایش به سطح معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد، رسیده است. ولی با افزایش بیشتر غلظت تا 1/5 درصد، زنده‌مانی نسـبی بـاکتری (٪) در مقایسه با نمونه شاهد، افزایش معنی‌داری نشان نمی‌دهـد. مـی‌تـوان نتیجه گرفت، افزایش غلظت در سطح 1/5 درصد باعث شده است که محلول غلیظ در برخورد با جریان هوای خروجی پمپ نتواند به ذرات

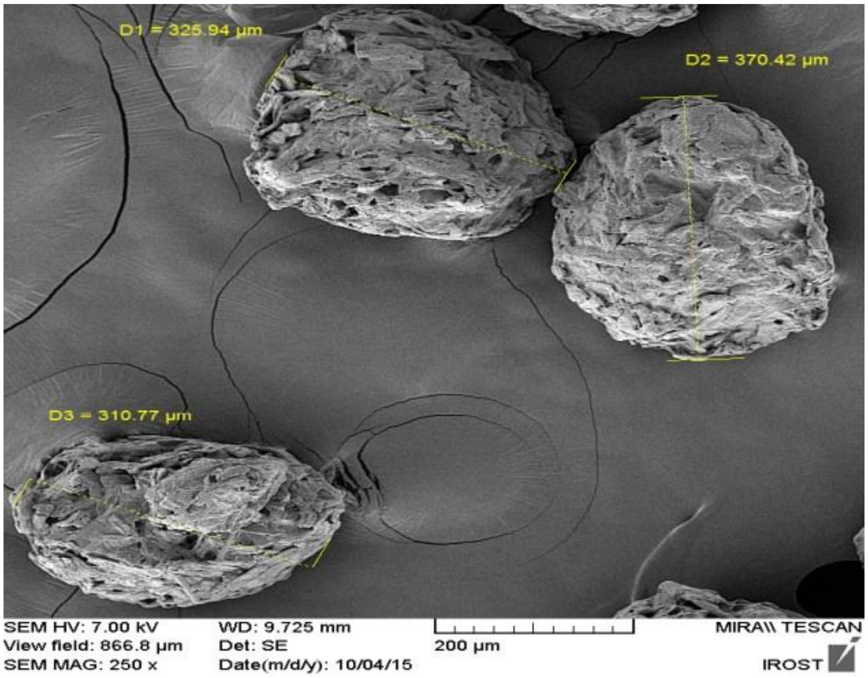
ریز تبدیل شده و اتمایزه محلول به درستی صورت نگیرد. ماندل و همکاران (2006)، باکتری *لاکتوباسیلوس کازئی* را با آلژینات در غلظت‌های 2، 3 و 4 درصد، به روش امولسیون، ریزپوشانی و زنده‌مانی باکتری را پس از طی دوره زمانی (1-3) ساعت در شرایط شبیه‌سازی شده معده بررسی کردند. نتایج بررسی نشان داد که افزایش غلظت آلژینات منجر به افزایش زنده‌مانی باکتری ریزپوشانی شده می‌گردد. لی و هیو (2000)، باکتری *بیفیدوباکتریوم‌لانگوم* را با آلژینات سدیم در غلظت‌های 2، 3 و 4 درصد با روش امولسیون، ریزپوشانی‌کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت آلژینات سدیم و اندازه قطر میکروکپسول، زنده‌مانی باکتری پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده، افزایش می‌یابد. موتوکاماراسامی و همکاران (2006)، پنج نوع مختلف از باکتری *لاکتوباسیلوس‌روتری* را به‌صورت جداگانه با آلژینات سدیم به دو روش اکستروژن و امولسیون ریزپوشانی و نشان دادند که میکروکپسول‌های تولید شده به روش اکستروژن محافظت بیشتری از باکتری در برابر شرایط اسیدی معده نسبت به روش امولسیون ایجاد کردند. گراف و همکاران (2007)، مخمر *ساکارومایسس‌بولاردی* را با آلژینات سدیم با غلظت 2 درصد (وزنی/ حجمی) به روش امولسیون ریزپوشانی کردند. میزان زنده‌مانی باکتری پس از طی دوره زمانی 1 ساعت در شرایط اسیدی معده برابر با 13/3 درصد بود. سابیخی و همکاران (2010)، باکتری *لاکتوباسیلوس‌اسیدوفیلوس* را با آلژینات سدیم با غلظت 4 درصد (وزنی/ حجمی) و نشاسته ذرت با غلظت 2 درصد (وزنی/ حجمی) به روش امولسیون ریزپوشانی کردند. میزان زنده‌مانی باکتری پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده در نمونه‌های ریزپوشانی شده 1/71 سیکل لگاریتمی و در نمونه شاهد 4/94 سیکل لگاریتمی، کاهش یافت. سلتانا و همکاران (2000)، باکتری *لاکتوباسیلوس‌اسیدوفیلوس* را با آلژینات سدیم با غلظت 2 درصد (وزنی/ حجمی) و 2 درصد نشاسته ذرت (ترکیب پری‌بیوتیک) به روش امولسیون ریزپوشانی کردند. میزان زنده‌مانی باکتری پس از طی دوره زمانی 3 ساعت در شرایط اسیدی، 5 سیکل لگاریتمی کاهش یافت. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) در پودر پوشش‌دهی شده با محلول شلاک با غلظت 18 درصد (حجمی/ وزنی) به‌طور معنی‌داری ($P\leq0/05$) نسبت به غلظت‌های دیگرتحت بررسی محلول شلاک افزایش نشان می‌دهد. زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با محلول شلاک نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌داری ($P\leq0/05$) نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که، زنده‌مانی نسبی (٪) در میکروکپسول پوشش‌دهی شده با شلاک 17 درصد پس از آزمون مقاومت اسیدی با نمونه‌های پوشش‌دهی شده با 16 و 18 درصد محلول شلاک تفاوت معنی‌داری ($P\leq0/05$) ندارد. با افزایش غلظت محلول شلاک، زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده، افزایش می‌یابد. افزایش غلظت تا حدی امکان‌پذیر است که بتوان محلول را در دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور، اتمایزه نمود که برای غلظت های بالای 18 درصد محلول شلاک مقدور نبود. شل و بیرمن (2014)، از پوشش شلاک 25 درصد (وزنی/ حجمی) و پروتئین آب‌پنیر شیرین برای ریزپوشانی *لاکتوباسیلوس‌روتری* با پوشش‌دهنده بستر شناور استفاده کردند، زنده‌مانی نسبی باکتری پس از طی دوره زمانی در محیط شبیه‌سازی شده اسید معده 24/36 ±76/74 درصد که در مقایسه با نمونه شاهد، 10/51 ±17/74 درصد، افزایش معنی‌داری ($P\leq0/05$) مشاهده شد. شل و بیرمن (2014)، نشان دادند که که با افزایش غلظت محلول شلاک، زنده‌مانی نسبی (٪) باکتری *لاکتوباسیلوس روتری* پس از دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی‌شده معده افزایش می‌یابد. استامر و همکاران (2010)، باکتری *لاکتوباسیلوس‌روتری* را یک‌بار با محلول شلاک و گلیسرول و بار دیگر با محلول شلاک و آلژینات سدیم با نسبت‌های 95 و 5 درصد و با استفاده از دستگاه پوشش‌دهنده بستر شناور، ریزپوشانی و زنده‌مانی نسبی باکتری پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده، بررسی‌کردند. زنده‌مانی نسبی باکتری پس از طی دوره زمانی در محیط شبیه‌سازی شده اسید معده، با محلول شلاک- گلیسرول و شلاک- آلژینات سدیم، به‌ترتیب 41 درصد و 0/14 درصد بود. حاماد و همکاران (2012)، مخمر پروبیوتیکی *ساکارومایسس‌سرویزیه* را با خشک‌کن پاششی با استفاده از محلول شلاک ریزپوشانی و واکنش سلول مخمر را در مواجهه با محیط اسیدی با غلظت 1 درصد مولار هیدروکلریک اسید با انجام آزمون رنگ‌سنجی فلورسنت بررسی نمودند. نتایج بررسی نشان داد که پوشش شلاک برای محافظت از باکتری‌های حساس به محیط اسیدی مناسب می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده با پوشش آلژینات سدیم با غلظت 1 درصد مشاهده شد. مقایسه تصویر میکروسکوپ الکترونی کپسول پوشش‌دهی شده با محلول شلاک 18 درصد (شکل 6) با تصویر کپسول پوشش‌دهی شده با محلول آلژینات سدیم 1% (شکل 7) نشان می‌دهد که محلول آلژینات سدیم 1% در مقایسه با محلول شلاک 18% ، پوششی یکدست‌تر، یکنواخت‌تر و با تخلخل کمتر ایجاد کرده است و به‌عنوان پوشش مناسب انتخاب شد.

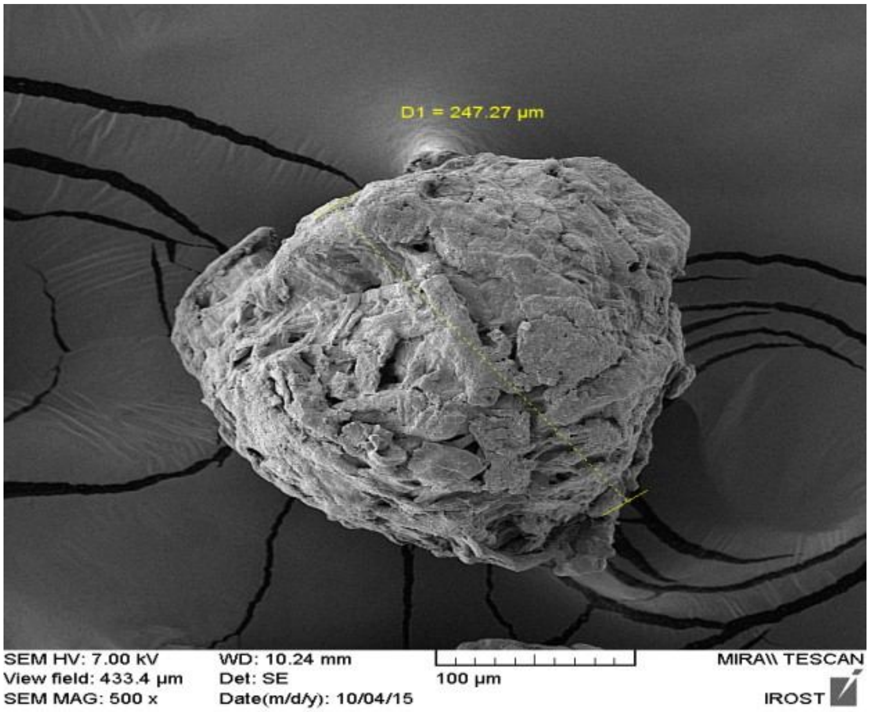


شکل 5- مقایسه تاثیر پوشش‌های آلژینات سدیم و محلول شلاک در غلظت‌های مختلف شلاک بر زنده‌مانی نسبی باکتری (٪) پس از طی دوره زمانی در شرایط شبیه‌سازی شده معده

(اعداد نمودار بیانگر میانگین سه تکرار آزمایش هستند و حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 می‌باشد)



شکل 6- باکتری پوشش‌دهی شده با محلول شلاک 18%



شکل 7- باکتری پوشش‌دهی شده با محلول آلژینات سدیم 1%

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که فناوری بستر شناور روشی مناسب برای افزایش زنده‌مانی میکروکپسول‌های پوسته- هسته *لاکتوباسیلوس روتری* در شرایط شبیه‌سازی شده معده می‌باشد. تعیین و بکارگیری شرایط بهینه پوشش‌دهی شامل نسبت ترکیبات قندی به غلظت باکتری، دمای جریان هوای شناورسازی و نوع ترکیبات بکاررفته در پوشش‌دهی، می‌تواند منجر به بهبود زنده‌مانی باکتری‌ها قبل و پس از قرارگیری در شرایط شبیه‌سازی اسیدی معده، شود. ریزپوشانی باکتری‌های پروبیوتیک با فناوری بسترشناور روشی است که می‌تواند با بهبود مقاومت باکتری‌ها در برابر شرایط نامساعد محیطی مانند شرایط اسیدی معده، به گسترش و توسعه فرآورده‌های پروبیوتیک کمک نماید.

منابع

Bian, L., 2008, An in vitro antimicrobial and safety study of Lactobacillus reuteri DPC16 for validation of probiotic concept, Master’s thesis, Massey University, *Auckland*, New Zealand.

Carlise, B., Fritzen-Freire, A., Elane, S., Prudêncio, A., Renata, D., Amboni, A., Stephanie, S.& Pinto, A.,2012, Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. *Food Research International*, 45, 306–312.

Graff, S., Hussain, S., Chaumeil, J.C.& Charrueaul, C., 2007, Increased intestinal delivery of viable Saccharomyces boulardii by encapsulation in microspheres. *Pharmaceutical Research*, 25, 1290-1296.

Hamad, S.A., Stoyanov, S.D.& Paunov, V.N., 2012, Triggered cell release from shellac-cell composite microcapsules, Soft Matter, 5069-5077.

Kahm, M., AhrCampus, R.& Hasenbrink, G., 2010, grofit: Fitting Biological Growth Curves with R. *Journal of Statistical Software*, 33(7), 23-45.

Kartheek, A., 2011, Microencapsulation of probiotics (Lactobacillus acidophilus and Lactobacillus rhamnosus) in raspberry powder by spray drying: optimization and storage stability studies. Master’s thesis, McGill University, *Québec*, Canada.

Lee, K. Y.& Heo, T., 2000, Survival of Bifidobacterium longum immobilized in calcium alginate beads in simulated gastric juices and bile salt solution. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 869–873.

Mandal, S., Puniya, K.& Singh, K., 2006, Effect of alginate concentrations on survival of microencapsulated

Lactobacillus casei NCDC-298. *International Dairy Journal*, 126(2-3), 249-28-4.

Marinescu, D., 2012, Bile Salt Hydrolyzing Lactobacillus reuteri (NCIMB 30242) for the reduction of markers of metabolic disease. Master's thesis, McGill University, Québec, Canada. Meng, X.C., Stanton, C., Fitzgerald, G.F., Daly, C.& Ross, R.P., 2006, Anhydrobiotics: The challenges of drying probiotic cultures. *Food Chemistry*, 106, 1406–1416.

Michael, T., Cook, G., Tzortzis, D.& Charalampopoulos, V.,2010, Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. *Journal of Controlled Release*, 162, 56–67.

Muthukumarasamy, P., Allan-Wojtas, P.& Holley, R.A., 2006, Stability of Lactobacillus reuteri in different types of microcapsules. *Journal of Food Science*, 71, 20-24.

Piar, H.& Kok, k., 2014, Enteric coating of granules containing the probiotic Lactobacillus acidophilus. *Acta Pharmaceutica*, 64, 247–256.

Reid, G., 2015, The growth potential for dairy probiotics. International Dairy Journal, 49: 16–22. Stephen, R.L., Werner Jim, R., Anthony, H.J., Richard, H., Archer, D.& Pearce, L., 2007, Air-suspension particle coating in the food industry: Part I — *state of the art*. *Powder Technology*, 171, 25–33.

Sabikhi, L., Babu, R., Thompkinson, D. K.& Kapila, S., 2010, Resistance of Microencapsulated Lactobacillus acidophil LA1 to Processing Treatments and Simulated Gut Conditions. *Food Bioprocess Technology*, 3, 586–593.

Santivarangkna, C., Kulozik, U.& Foerst, P., 2007, Alternative Drying Processes for the Industrial Preservation of Lactic Acid Starter Cultures. *Biotechnology*, 23, 302-315.

Sanjay, K., Jain, A., Yashwant, G.& Manisha, A., 2007, Design and Development of Hydrogel Beads for Targeted Drug Delivery to the Colon. *AAPS PharmSciTech*, 8 (3), 56.

Schell, D.& Beermann, C., 2014, Fluidized bed microencapsulation of Lactobacillus reuteri with sweet whey and shellac for improved acid resistance and in-vitro gastro-intestinal survival. *Food Research International*, 62, 308.

Semyonov, D., Ramon, O., Kovacs, A., Friedlander, L.& Shimoni, E., 2014, Air-Suspension Fluidized-Bed Microencapsulation of Probiotics. *Drying Technology*: *An International Journal*, 30(16), 1918-1930.

Semyonov, D., Ramon, O., Kaplun, Z., Levin-Brener, L., Gurevich, N.& Shimoni, E., 2010, Microencapsulation of Lactobacillus paracasei by spray freeze drying. *Food Research International*, 43(1), 193–20.

Sinha, A., Dudani, T.&Ranganathan, B.,2001, National dairy Research protective effect of fortified skim milk as suspending medium for freeze drying of different Lactic acid bacteria. *Journal of food science*, 39.

Stephan, A., 2008, Innovative product formulations applying the fluidised bed technology. Doctoral thesis, book edited by Everlon Cid Rigobelo, *ISBN* 978-953-51-0776-7

Stummer, S., Salar-Behzadi, S., Unger, F., M, Oelzant., Penning, M.& Viernstein, H.,2010, Application of shellac for the development of probiotic formulations. *Food Research International*, 43, 1312–1320.

Sultana, K., Godward, G., Reynolds, N., Arumugaswamy, R., Peiris, P.& Kailasapathy, K., 2000, Encapsulatio of probiotic bacteria with alginate-starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Journal of Food Microbiology*, 62(1-2), 47-55.

Wagner, R., Shemedia, J.& Johnson, L., 2012, Protection of Vaginal Epithelial Cells with Probiotic Lactobacilli and the Effect of Estrogen against Infection by Candida albicans Microbiology Division, National Center for Toxicological Research, Jefferson, USA. *Open Journal of Medical Microbiology*, 2, 54-64

Wolfgang, K., Andreas, R.& Klaus, D., 2000, In vitro growth behaviour of probiotic bacteria in culture media with carbohydrates of prebiotic importance. *Microbial Ecology in Health and Disease*,12, 27–34.

Wurster, E., 1959, Air-Suspension Technique of Coating Drug Particles. *Journal of the American Pharmaceuticasaslociation*, XLVIII, 8.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 844-857

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 857-844

Developing probiotic bread using *Lactobacillus reuteri* part 1: Evaluation of fluidized bed microencapsulation on viability of *Lactobacillus reuteri* in simulated gastrointestinal conditions

L. Zaghari[1], A. R. Bassiri[2*], S. Rahimi[2], A. Zonusi[2]

Received: 2016.06.18
Accepted: 2016.12.18

Intoduction: Probiotics are defined as essential live microorganisms that, when administered in adequate amounts, confer a health benefit on the host. The range of beneficial properties reaches from lowering cholesterol to preventing cancer. The most important probiotic microorganisms belong to the group of lactic acid bacteria. *Lactobacillus reuteri* which naturally occurs in the human intestine possess probiotic properties with good colonization potential. The development of probiotic foods presents many challenges, particularly with respect to the stability of the bioactive compounds during processing, storage and passage through acidic gastric environment. Therefore, it is a great challenge to bring the probiotics into a stable form, which guarantees, that the microorganisms reach their target location, the human intestine, in an adequate amount. Microencapsulation helps improve survival probiotic bacteria from environmental stresses. In most studies, probiotic bacteria are entrapped in a gel matrix of natural biological materials such as alginate, or gellan. The core and wall solutions are turned into drops of the desired size by employing an emulsion method. The main problem in the probiotic entrapment approach is that gel bead entrapment technologies generally stabilize the bacteria in liquid products and are difficult to scale up. In order to extend the shelf life of encapsulated probiotics, a glassy state form of the embedding matrix is required. This can be achieved by employing such as air-suspension fluidized-bed coating. In the present research, an air-suspension fluidized-bed technique for generation of core and shell microcapsules containing probiotic *Lactobacillus reuteri* cells and the efficacy of shellac and sodium alginate at different concentrations on viability of capsules in simulated gastrointestinal conditions was evaluated.

Materials and methods: Pure freeze-dried *Lactobacillus reuteri* PT-1655 were obtained from Persian Type Culture Collection (Tehran, Iran) and were activated by inoculation in the MRS broth at 37°C for 36-48 h. The air-suspension process was performed in a Wurster coater system with a bottomspraying atomizer. The growth curve of lactobacillus reuteri were determined by measuring the optical density (turbidity) at 600 nm to estimate the time when the growth curve enters a stationary phase in which bacteria develop a general stress resistance and are thus more resistant to various types of stresses. In various pretests the fluidization pressure, the atomization pressure and the spraying rate of the microencapsulation process were varied to examine their influence on process conditions, especially on the particle development. Several different solutions of *Lactobacillus reuteri* were prepared and evaluated for percentage survival during the coating. The solution containing *Lactobacillus reuteri* (6–12 g/100 g solution), maltodextrin (4–7 g/100 g solution) and sorbitol (4–7 g/100 g solution) concentrations was spray-coated at three inlet temperatures: 37, 47 and 62°C onto and absorbed by the inert carrier microcrystalline cellulose to produce nonagglomerating dry coated. For the coating processes an aqueous shellac solution at 3 concentrations (16, 17 and 18% (w/v)), containing plasticizers in the ratios of 95 + 5 and an aqueous sodium alginate solution at 3 concentrations (0.5, 1 and 1.5% (w/v)), were used. Simulated gastric juice was prepared fresh daily containing 3.2 mg of pepsin, 1 ml of NaCl solution (0.5%) and acidified with HCl (1.2 M) to pH 1.5 ± 0.5. Tolerance to gastric juice was examined by placing freshly prepared cells in a tube containing sterile simulated gastric juice for 1 h and incubated at 37°C for 2 h. To characterize the morphology of the MCC particles coated with the different matrix formulations, SEM images were taken. Experimental data have been represented as the mean with standard deviation (SD) of different independent determinations. The significance of differences was evaluated by analysis of variance (ANOVA). Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

1. Former M.Sc. Student of Food Science and Technology, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Food Technology and processing Faculty, Department of Chemical Technologies, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Biosystems Engineering Faculty, Department of Agricultural research, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: bassiri@irost.ir)

Results and discussion: The obtained growth curve showed that over the first 4 hours after inoculation bacteria are in lag phase, the colony entering the log phase of growth after 5–16 hours and from 16 to 18 hours after inoculation, bacteria come into the stationary phase and the biomass was ready to removal from growth media. Inlet air temperature, was shown to play an important role in the survival of bacteria; a 15°C increase in inlet air temperature led to a 12.7-fold decrease in survival percentage. The investigation of effect of inlet air temperature and ratio of bacteria to sugars in formulation on cell viability shows that at temperature of 37°C and ratio of 10: 10 the cell viability was significantly higher. There was a nonsignificant decrease in relative survival of bacteria absorbed into the matrix before and after coating with shellac at 3 concentrations (16, 17 and 18% w/v) and sodium alginate at 3 concentrations (0.5, 1 and 1.5% w/v). The relative survival (%) of bacteria coated with sodium alginate at concentration of 1% (w/v) was significantly higher compared to other solutions under simulated gastro-intestinal conditions (pH 2.0, for 1h).

Keywords: *Lactobacillus reuteri*, microencapsulation, fluidized bed coater, simulated gastrointestinal conditions

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 858-866

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 866-858

تعیین خواص رئولوژیکی گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری شبه استاتیکی

مرصاد قربان نژاد شهرودی[1]- عبدالله گل‌محمدی[2]*- داود کلانتری[3]

تاریخ دریافت: 1395/02/25
تاریخ پذیرش: 1395/07/12

چکیده

مقادیر زیادی از محصول گوجه‌فرنگی طی مراحل مختلف برداشت، انتقال و بسته‌بندی از بین می‌رود. تعیین عوامل موثر بر میزان تغییرشکل گوجه‌فرنگی می‌تواند منجر به کاهش ضایعات محصول شود. اثر برخی از پارامترهای مهم انبارمانی گوجه‌فرنگی مانند بارگذاری شبه استاتیکی در سه سطح (2، 6 و 10 نیوتن)، دمای نگه‌داری در دو سطح (4 و 25 °C) و راستای بارگذاری در دو جهت برای دو رقم گوجه‌فرنگی بر میزان تغییرشکل مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌ها در یک دوره 15 روزه، طی آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی بررسی شد. نتایج نشان داد که در دمای 25 °C، با افزایش اندازه بار از 2 به 10 نیوتن، مقدار تغییرشکل محصول به میزان 65% افزایش می‌یابد. با کاهش دما از 25 به 4 °C، تغییرشکل در بار ثابت 6 نیوتن به میزان 40% کاهش می‌یابد. در شرایط بارگذاری ثابت، مدل رئولوژیکی کلوین عمومی برای تخمین کرنش بر حسب زمان مناسب تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: ارقام، بارگذاری فشاری، مدل رئولوژیک، تغییر شکل

مقدمه

آسیب‌های مکانیکی در محصولات کشاورزی پدیده‌ای است که شرایط را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم برای ایجاد ضایعات فراهم می‌سازد. آسیب لهیدگی ناشی از نیروی شبه‌استاتیک یکی از مهم‌ترین دلایل افت کیفیت میوه تازه محسوب می‌شود. محصولات کشاورزی در مراحل مختلف برداشت و پس از برداشت مانند جابه‌جایی، حمل‌ونقل، نگه‌داری و فرآوری، تحت تأثیر نیروهای مکانیکی و صدمات فیزیکی متعددی واقع می‌شوند. در بسیاری از موارد نیروهای وارده موجب آسیب‌دیدگی مکانیکی محصول و پارگی دیواره سلولی شده و روند تبادلات طبیعی دیواره سلولی دچار اختلال می‌گردد. این موضوع به یکی از مسائل مهم مدل‌سازی و بررسی تجربی در حوزه علوم مهندسی بیوسیستم تبدیل شده است (Myhan *et al*,. 2012). گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین محصولات باغی است و به‌طور وسیعی در مناطق مختلف دنیا تولید می‌گردد. باید به این نکته توجه نمود که احتمال ایجاد ضایعات در میوه گوجه‌فرنگی زیاد است، زیرا این میوه از 93 تا 95 درصد آب و 5 تا 7 درصد مواد جامد تشکیل شده است (Mazaheri *et al*, 2007). شناسایی شرایط و عوامل موثر بر وقوع صدمات مکانیکی در محصولات کشاورزی می‌توانند به کاهش ضایعات در این بخش منجر شود (Afkari Sayah & Minaee, 2009). محصولات کشاورزی و باغی در طول دوره برداشت، جابجایی، حمل‌ونقل و انبارداری مستعد صدمات مکانیکی و ضربه هستند. در هر یک از این مراحل میوه در معرض بارهای مختلف استاتیکی و دینامیکی قرارگرفته و صدمه می‌بینند. این صدمات کیفیت محصول را کاهش و به دلیل فساد ضایعات محصول را افزایش می‌دهند (Rong *et al*, 2004). اغلب لهیدگی در طی جابجایی و انبارداری به سبب فشار و بار بر روی میوه صورت می‌گیرد. پس از چیدن شدن میوه در جعبه یا انبار، فشار وارد بر میوه رویی با فشاری که بر میوه انتهایی جعبه وارد می‌شود، یکسان نیست. این فشار باعث می‌گردد میوه دچار لهیدگی شود (Tiback *et al*, 2014).

برای مطالعه رفتار ویسکوالاستیک مواد کشاورزی از علم رئولوژی استفاده می‌شود که علم تغییر شکل و جریان پذیری مواد بیولوژیکی تحت تأثیر نیروها در طی زمان‌های مختلف است. برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی رفتار مواد تحت شرایط مختلف تنش و کرنش از مدل‌های مختلف رئولوژی استفاده می‌شود. این مدل‌ها شامل ترکیبات مختلفی از جسم جامد (فنر) و جسم مایع نیوتنی (کمک‌فنر) می‌باشند که رفتار پیچیده مواد مختلف کشاورزی را نشان می‌دهند (Rao *et al*, 2005).

در پژوهشی رفتار ویسکوالاستیک هشت رقم خرما در دو مرحله

1و 2– به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی.
3- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
(* - نویسنده مسئول: Email: agolmohammadi42@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55948

از رسیدگی، رطب و خلال، بر اساس سه مدل رئولوژیکی پلگ[1]، ماکسول عمومی[2] و ناسینوویچ[3] مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر سه مدل در ارزیابی رفتار وارفتگی خرما دارای اعتبار می‌باشند. اما مدل ماکسول عمومی در پیش‌گویی داده‌های آزمایش بهترین مدل بود (Hassan *et al*, 2005).

در پژوهشی Moghimi & Saidi Rad (2010) رفتار ویسکوالاستیک گیلاس را در کرنش ثابت بررسی نمودند. آن‌ها از دو مدل رئولوژیکی پلگ و ماکسول عمومی برای تفسیر رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌های تحت کرنش ثابت، استفاده نمودند. پژوهشگران مشاهده کردند که مشخصات ویسکوالاستیک گوجه‌فرنگی به‌طور واضح در طی مدت انبارداری تغییر می‌کند (Wu & Abbott, 2002). نتایج تحقیق بر روی خصوصیات بافتی گوجه‌فرنگی در مراحل مختلف رسیدگی، نشان داده که سختی بافت گوجه‌فرنگی با رسیده‌تر شدن کاهش می‌یابد (Kader & Rolle, 1987). در خصوص مدت زمان پس از برداشت، نتایج نشان داد که با گذشت زمان مقاومت گوجه‌فرنگی در برابر فشار کم‌تر می‌شود (Mohammadi Aylar *et al*, 2010).

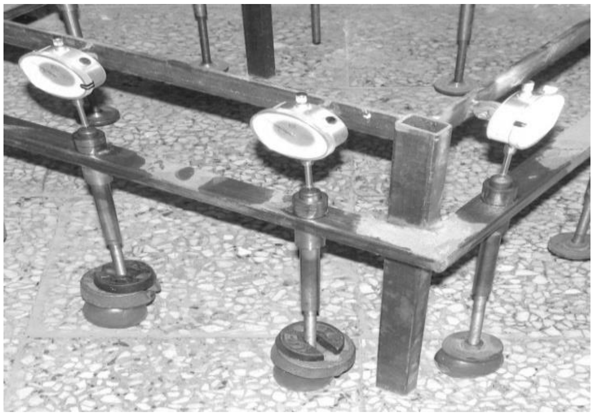
بررسی‌های انجام‌شده، نشان داد که در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه آسیب‌های ناشی از ضربه و فشار بر روی میوه‌ها و محصولات باغی انجام گرفته است، لیکن تحقیقات جامعی پیرامون خواص رئولوژیکی محصول گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری، همچنین تأثیر همزمان پارامترهای مختلفی همچون رقم، مدت زمان نگه‌داری و شرایط انبارداری، راستاهای مختلف بارگذاری انجام نشده است؛ لذا در این پژوهش، بررسی جامع‌تری از خواص رئولوژیکی محصول گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری انجام گرفت و برای تعیین مدل رئولوژیکی در شرایط نیروی ثابت ($d\sigma/dt = 0$)، با استفاده داده‌های حاصل آزمون ضرایب دستگاه کلوین عمومی استخراج و به‌صورت معادله ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه‌های اولیه

در این پژوهش از دو رقم گوجه‌فرنگی با نام‌های سوپر بتا[4] و پتوارلی سی اچ[5] برای آزمون استفاده شد. نمونه‌ها در یک مرحله از میزان رسیدگی (تقریباً رسیده با رنگ صورتی متمایل به قرمز) از گلخانه تخصصی، دست‌چین و به‌صورت تک لایه در سبدهای مخصوص و به‌صورت کاملاً کنترل شده، به‌طوری که کمترین تنش فیزیکی بر آن‌ها اعمال شود، به آزمایشگاه منتقل گردیدند. برای اندازه‌گیری جرم (m) از ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 gr (ترازوی KIA مدل BL1000، کیا ایران) استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری حجم از روش جابه‌جایی آب استفاده گردید (تولوئن روی پوست محصول اثر نامطلوب داشت). همچنین با استفاده از کولیس دیجیتال (MITUTOYO CD-515، ژاپن) با دقت 0/01 mm، قطر بزرگ (L)، قطر کوچک (W) و ارتفاع (T) نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند (Galedar *et al*, 2008؛Mohsenin, 1986).

به منظور تعیین اثر عوامل مختلف، شامل شرایط آزمایشگاهی و مدت زمان انبارداری بر مقاومت گوجه‌فرنگی‌ها از دستگاه آزمون بارگذاری فشاری ساخت کارگاه تراشکاری دانشکده استفاده شد (شکل 1).

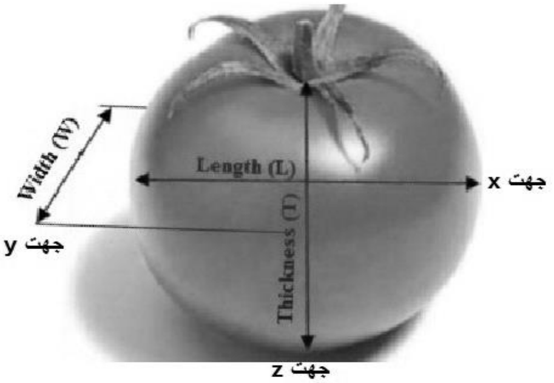


شکل 1- نحوه قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه آزمون بارگذاری فشاری

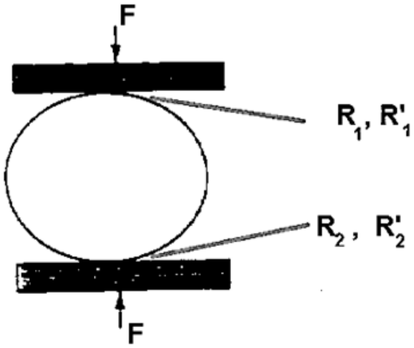
آزمایش‌ها در یک دوره 15 روزه و در دو شرایط متفاوت دمایی، یکی در دمای 4 درجه سلسیوس سردخانه و دیگری در شرایط محیط آزمایشگاهی با دمای 25 درجه سلسیوس انجام شدند. نمونه‌ها در سه سطح 2، 6 و 10 نیوتن و در دو راستای گل (راستای z در شکل 2) و دیگری 90 درجه نسبت به راستای گل (راستای y در شکل 2) تحت بارگذاری قرار گرفت و با استفاده از نشانگر (Dial Indicator، Guanglu) میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی‌ها در مدت زمان 2، 4، 7، 10، 15 روز پس از بارگذاری در شرایط سردخانه و محیط آزمایشگاهی ثبت و مورد بررسی قرار گرفت.

آزمون دوم، به‌منظور تعیین مدل رئولوژیکی در شرایط نیروی ثابت ($d\sigma/dt = 0$) و تحت نیروی ثابت 15 نیوتن و در دمای آزمایشگاهی انجام شد و میزان تغییر شکل نمونه‌ها در فواصل زمانی 10 دقیقه و به مدت 60 دقیقه ثبت گردید. به‌منظور انجام بارگذاری فشاری از طرح‌واره شکل 3 استفاده شد. وزنه بر روی صفحه متحرک دستگاه قرار گرفت، سپس میزان تغییر شکل بلافاصله یادداشت شد

1 - Peleg
2 - Maxwell
3- Nussinovitch
4- Supper-Beta
5- Petoerly-CH



شکل 2 - راستاهای بارگذاری



شکل 3- طرح‌واره بارگذاری فشاری

برای محاسبه‌ی مقدار مدول الاستیسیته ظاهری گوجه‌فرنگی در بارگذاری روی نمونه‌های کامل، از روابط حاصل از تئوری هرتز استفاده گردید (Mohsenin,1986). با توجه به حالت بارگذاری و شکل متقارن نمونه‌های گوجه‌فرنگی، رابطه ذیل برقرار می‌باشد.

$$R'_1 = R'_2 \text{ و } R_1 = R_2 \qquad (1)$$

بنابراین معادله‌ی مربوط به مدول الاستیسیته محصول گوجه‌فرنگی از طریق معادله 2 قابل‌محاسبه می‌باشد (Stroshine,1994).

$$E = \frac{0.956K^{3/2}F(1-\mu^2)}{D^{3/2}}\left[\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R'_1}\right]^{1/2} \qquad (2)$$

که E مدول الاستیسیته ظاهری (Pa)، F مقدار نیرو (N)، D مقدار تغییر شکل (m)، R_1 شعاع انحناء حداقل در نقطه تماس (m)، R_1' شعاع انحناء حداکثر در نقطه تماس (m)، K فاکتور بدون بعد وابسته به ویژگی هندسی صفحه تحت بارگذاری نمونه و μ ضریب پوآسون می‌باشد. ضریب پوآسون برای گوجه‌فرنگی 0/5 در نظر گرفته شد (Broniowska *et al*, 2012).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با 5 تکرار استفاده شد. در این طرح رقم، دما، سطوح بارگذاری، راستا و مدت زمان بارگذاری به‌عنوان پارامترهای مستقل و میزان تغییر شکل به‌عنوان پارامتر وابسته در نظر گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS 2014 و برای ارائه نتایج به‌صورت نمودار از نرم‌افزار Excel 2010 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری تغییر شکل برای هر دو رقم گوجه‌فرنگی سوپر بتا و پتوارلی سی اچ در جدول (1) ارائه‌شده است. با توجه به نتایج جدول، اثر اصلی هر پنج عامل مورد بررسی معنی‌دار شد. بر این اساس در ادامه بحث، روند تغییرات هر یک از عوامل روی تغییر شکل نمونه‌های گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی مربوط به گوجه‌فرنگی شامل ابعاد هندسی، جرم و ضریب کرویت در جدول (2) ارائه‌شده است. با توجه به نتایج حاصل، میانگین ضریب کرویت ارقام سوپر بتا و پتوارلی سی‌اچ به‌ترتیب برابر با 95/25 و 93/31 درصد به‌دست آمد.

جدول 1- تجزیه‌ی واریانس پنج عامل مورد بررسی بر میزان تغییر شکل

منبع تغییرات●	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
نیرو	2	38/953	40/07*
دما	1	20/339	27/92*
رقم	1	1/901	2/61**
راستای بارگذاری	1	1/545	2/12*
مدت زمان	4	226/976	116/73**
نیرو × مدت زمان	8	15/203	3/91*

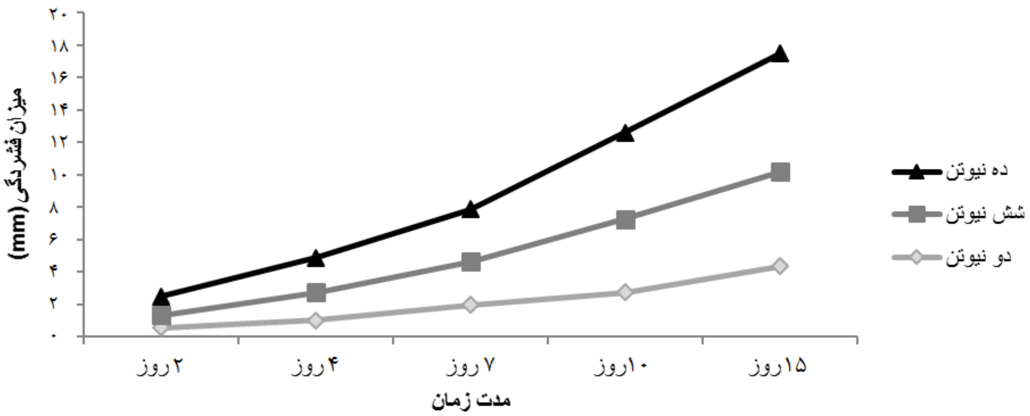
* معنی دار در سطح 5 درصد و ** معنی دار در سطح 1 درصد. ● سایر اثرات متقابل دوگانه و ... معنی‌دار نمی باشد.

جدول 2- خصوصیات فیزیکی گوجه‌فرنگی ارقام سوپر بتا و پتوارلی سی اچ

صفات	ارقام	
	Petoerly-Ch	*Supper-Bta*
ارتفاع، T (mm)	53/72±5/12	51/68±4/96
قطر بزرگ، L (mm)	58/50±6/83	58/02±5/95
قطر کوچک، W (mm)	54/91±4/78	52/98±4/69
قطر معادل حسابی، D_a (mm)	55/71±4/14	54/22±3/28
قطر میانگین هندسی، D_g (mm)	55/63±4/08	54/14±3/77
جرم، m (g)	96/92±16/87	92/69±16/69
ضریب کرویت، Ø (%)	95/25±6/23	93/31±6/02
حجم، V (cm^3)	165/37±56/81	157/82±49/27
نسبت نما (نسبت قطر کوچک به قطر بزرگ، R)	0/93±0/07	0/91±0/08
مساحت سطح، S (cm^2)	97/38±13/88	92/12±12/34

اثر نیرو و مدت زمان نگهداری بر میزان تغییر شکل

شکل 4 نتایج مربوط به آزمون نیروهای ثابت در مدت زمان 15 روز بارگذاری را نشان می‌دهد. در این آزمون، بار در سه سطح 2، 6 و 10 نیوتن، ثابت نگه داشته شد و تغییر شکل نمونه‌ها در مدت زمان بارگذاری از 1 تا 15 روز ثبت گردید. با توجه به شکل 4، با افزایش مدت زمان بارگذاری، میزان تغییر شکل نمونه‌ها به‌صورت غیرخطی (نمایی یا درجه 2) افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها در هر سه سطح بارگذاری، شیب تغییر شکل نمونه‌ها با افزایش مدت زمان بارگذاری افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج نشان داده‌شده در شکل 4، برای راستای گل، با افزایش میزان بار از 2 به 6 نیوتن در روز چهارم، اختلاف در میزان تغییر شکل 0/71 میلی‌متر می‌باشد، درحالی‌که برای روز 15 این مقدار 1/45 می‌باشد. یافته‌های حاصل از مطالعه Allende و همکاران (2004) این نتیجه را تأیید می‌کند. افزایش در میزان تغییر شکل نشان‌دهنده تأثیر مدت زمان بارگذاری در محصولات مانند گوجه‌فرنگی می‌باشد. این امر می‌تواند به علت کاهش نسبت دانسیته توده محصول در طی مدت زمان نگه‌داری باشد، چرا که انجام واکنش‌های بیوشیمیایی مؤثر در رسیدن میوه و فعال‌تر شدن آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره‌های سلولی در کاهش نسبت دانسیته توده در طی مدت زمان نگه‌داری، میزان نرم‌شدگی و تغییر رنگ محصول نقش موثری دارد (Hosseini *et al*, 2010).

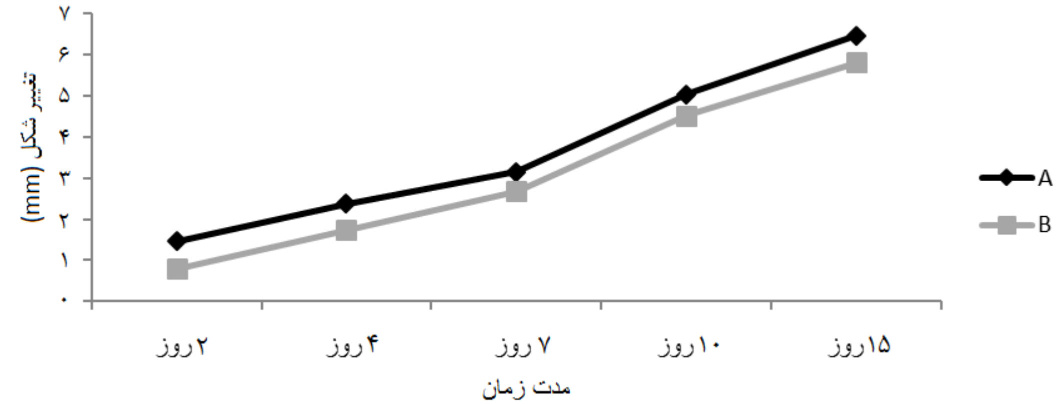


شکل 4- میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی برای رقم پتوارلی سی اچ در راستای گل در سه سطح بارگذاری در دمای 25 درجه سلسیوس

اثر راستای بارگذاری بر میزان تغییر شکل

در این آزمون تأثیر دو جهت بارگذاری، راستای گل و عمود بر راستای گل بر میزان تغییر شکل نمونه‌ها بررسی شد. با توجه به اینکه روند تغییرات در سطوح مختلف بارگذاری تقریباً یکسان بوده؛ لذا برای نمونه در شکل 5 فقط نتایج آزمون تغییر شکل مربوط به نمونه‌های رقم پتوارلی سی اچ در نیروی ثابت 6 نیوتنی در دو راستای متفاوت بارگذاری ارائه‌شده است. با توجه به نتایج، راستای 90 درجه نسبت به راستای گل دارای حساسیت بیشتری نسبت به فاکتور تغییر شکل

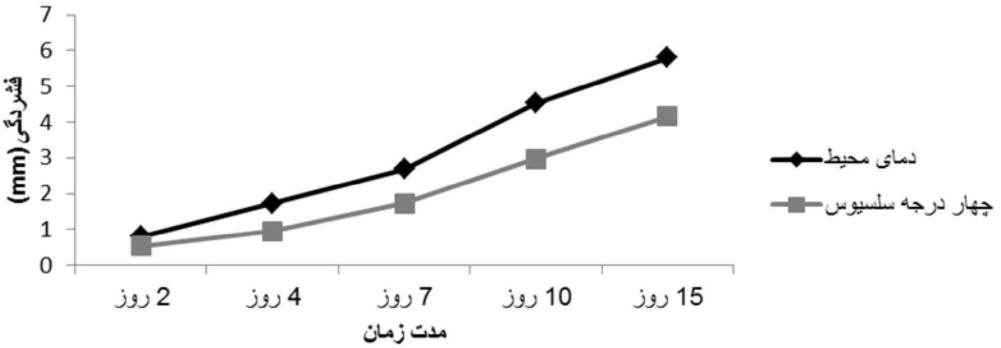
می‌باشد. به‌طور مثال در روز هفتم نگه‌داری گوجه‌فرنگـی در شـرایط آزمایشگاه، میزان تغییر شکل برای 90 درجه نسبت به راستای گـل و راستای گل به ترتیب برابر با 3/15 mm و 2/68 mm به‌دست آمد. از نتایج فوق برداشت می‌شود که نگه‌داری میوه در راستای گـل تغییـر شکل کمتری نسبت به حالت 90 درجه نسبت به راستای گـل ایجـاد می‌کند. علت این امر مربوط به بافت گوجه‌فرنگی می‌باشد، زیرا بافت گوجه فرنگی در راستای گل به دلیل قرار گیری گل میوه سـفت‌تـر و سخت‌تر از بافت گوجـه‌فرنگـی در راسـتای عمـود بـر راسـتای گـل می‌باشد.



شکل 5- میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی رقم پتوارلی سی اچ (A=90 درجه نسبت به راستای گل و B=راستای گل) در بار ثابت 6 نیوتنی

اثر دما بر میزان تغییر شکل

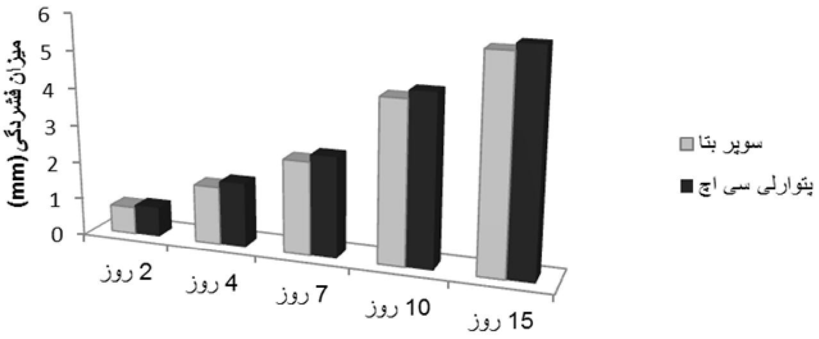
مقایسه مقادیر ارائه‌شده در شکل 6 نشان می‌دهد که بـا کـاهش دما از دمای آزمایشگاهی (25 درجه سلسـیوس) بـه دمـای 4 درجـه سلسـیوس، میـزان تغییـر شـکل کـاهش یافتـه اسـت. نتـایج آزمایشات Schoorl & Holt (1977) نشان داده است که با کـاهش دما، ویسـکوزیته ی محصـولات بیولوژیـک افـزایش‌یافتـه و دیـواره سلول‌ها ترد شده و سفتی بافت افزایش می‌یابد. بنابراین منطقـی بـه نظر می‌رسد که میزان تغییر شکل محصول در دمـای کمتـر کـاهش یابد. این نتیجه با یافته‌های Hyde و همکاران (2001) نیز مطابقـت دارد.



شکل 6- میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی در شرایط دمایی محیط آزمایشگاه و 4 درجه سلسیوس سردخانه

اثر رقم بر میزان تغییر شکل

نتایج آزمون‌های مربوط به تحقیق حاضر نشـان داد کـه در هـر مقدار از سطح بارگذاری و مدت زمان نگهداری، رقم سوپر بتا نسـبت به رقم پتوارلی سی اچ مقاومت بیشتری در مقابل بارهای فشاری شبه استاتیکی دارد. البته مقدار اختلاف در میزان تغییر شـکل بـرای کلیـه مقادیر بارگذاری و زمان‌های نگهداری کمتر از 5 درصد به‌دست آمـد (شکل 7). این نتیجه با نتایج و یافته‌هـای Mohammadi Aylar و همکاران (2010) مطابقت دارد.



شکل 7- میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی در هر دو رقم سوپر بتا و پتوارلی سی اچ

با توجه به اینکه حداکثر تغییر شکل نمونه‌های گوجه‌فرنگی، مربوط به دمای محیط آزمایشگاهی و حداکثر نیروی بارگذاری می‌باشد؛ لذا برای تعیین مدل رئولوژیکی از نتایج بارگذاری حداکثر نیروی ثابت شبه استاتیکی 15 نیوتن و دمای 25 درجه سلسیوس استفاده شد. در مدت آزمایش میزان تغییر طول نمونه‌ها در هر سه جهت اندازه‌گیری و ثبت گردید. در نتیجه‌ی این بارگذاری، در راستای z کاهش قطر و در دو جهت دیگر افزایش قطر مشاهده شد. داده‌های حاصل از آزمون نیروی ثابت در جدول 3 ارائه‌شده است. برای تعیین مدل رئولوژیکی در شرایط نیروی ثابت ($d\sigma/dt = 0$)، از معادله (3) برای دستگاه کلوین عمومی استفاده شد (Stroshine, 1994).

با توجه به داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها (جدول 3)، و با در نظر گرفتن رابطه (3) برای دستگاه کلوین عمومی و با فرض $\eta_v=0.31$ (Rong *et al*, 2004)، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB رابطه مربوط به کرنش بر حسب زمان $\varepsilon(t)$ محاسبه و به‌صورت معادله (4) ارائه شد.

با توجه به معادله فوق میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی در دمای محیط آزمایشگاهی (25 درجه سلسیوس) و تحت بارگذاری شبه استاتیکی 15 نیوتن، با استفاده مدل عمومی کلوین به‌صورت تابعی از زمان قابل محاسبه خواهد بود.

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left[\left(1/E_0\right) + \left[1/E_1\right]\left(1 - e^{-t/T_1}\right) + \left[1/E_2\right]\left(1 - e^{-t/T_2}\right) + \ldots + \left[1/E_n\right]\left(1 - e^{-t/T_n}\right) + \left(t/\eta_v\right) \right] \quad (3)$$

$$\varepsilon(t) = 0.00005e\hat{}(-0.0549 + 0.218i)t - (0.00002 + 0.00002i)t + 0.00125 - 0.0005i \quad (4)$$

جدول 3- داده‌های به‌دست آمده برای مرحله نیروی ثابت (بار شبه استاتیکی 15 نیوتن)

S (s)	0	10	20	40	60
X(mm)	62/57	62/61	62/67	62/83	63/07
Y(mm)	58/07	58/10	58/17	58/36	58/61
Z(mm)	51/11	50/68	50/45	49/87	49/14
ε_x	0	-0/0007	-0/0010	-0/0014	-0/0020
ε_y	0	-0/0005	-0/0012	-0/0017	-0/0022
ε_z	0	0/0080	0/0045	0/0062	0/0077
ε_{ave}	0	0/0023	0/0008	0/0010	0/0012

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این تحقیق با کاهش 80 درصد از مقدار بار شبه استاتیکی وارد شده بر گوجه‌فرنگی که می‌تواند ناشی از انباشتگی محصول بر روی هم باشد، میزان لهیدگی محصول به میزان 65 درصد کاهش می‌یابد. در بار ثابت 6 نیوتن، با کاهش دمای نگهداری از دمای محیط آزمایشگاهی (25 درجه سلسیوس) به دمای 4 درجه سلسیوس، تغییر شکل محصول گوجه‌فرنگی به میزان 40 درصد کاهش می‌یابد. تأثیر رقم محصول گوجه‌فرنگی در میزان تحمل بارهای فشاری معنی‌دار است. با افزایش مدت زمان بارگذاری از 1 تا

15 روز، در هر سه سطح بارگذاری فشاری بر روی محصــول، میــزان تغییر شکل نمونه‌ها به‌صورت غیرخطی افزایش مــی‌یابـد. در شــرایط نیروی ثابت 15 نیوتن، مدل رئولوژیکی کلوین عمومی برای تخمــین تغییرات کرنش در محصول نسبت به زمان مناسب است.

منابع

Afkari Sayah, A., & Minaee, S., 2009, Foundations and mechanical lesions Farm products. *Publications SID unit Ardabil province*. (In Farsi)

Allende, A., Desmet, M., Vanstreels, E., & Nicola, M., 2004, Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. *Postharvest Biology and Technology*, 34, 131–141.

Broniowska, K., Gladysezewska, B., & Ciupal, A. 2012, Effect of storage time and temperature on Poisson ratio of tomato fruit skin, *Journal of Agro-physic* 26, 39-44.

Galedar, M., Tabatabaeefar, A., Jafari, A., Sharifi, A., O'Dogherty, M. J., Rafee, S., & Richard, G., 2008, Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. *Journal of Bio-systems*. 101(2), 199-208.

Hassan, H., Alhamdan, M., & Elansari, M., 2005, Stress relaxation of dates at Khalal and Rrutab stages of maturity. *Journal of Food Engineering*. 6, 439-445.

Hosseini, Hoshyar, S., Fatemian, H., & Elkhush, B., 2010, The effects of impact forces from a fall on the biophysical properties of the tomato. *Journal of Food Science and Nutrition* (In Farsi)

Hyde, M., Baritelle, L., & Varith, J., 2001, Fruit and vegetable conditioning to improve impact bruise threshold. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering. *Journal of Potsda* Germany 11–14.

Kader A, A., & Rolle, R. S., 1987, The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce, *FAO Agricultural Service Bulletin*

Mazaheri, Tehrani, M., Morteza, A., Zeyalhagh, H., & Ghandi, A., 2007, Tomato processing. *Publication of border*, (In Farsi)

Moghimi, A., & Saidi Rad, M., 2010, Cherry viscoelastic behavior under constant strain. *Sixth National Congress of Agricultural Engineering and Mechanization machines* (In Farsi)

Mohammadi Aylar, S., Minaee, S., & Afkari, Sayah, A., 2010 Mechanical properties of tomato under compressive loads during different stages of post-harvest handling. *Iranian Journal of Bio-systems engineering*.

Mohsenin, N. N., 1986, *Physical properties of plant and animal materials, Vol. 1*. Gordon and Breach Science Publication.

Myhan, R., Bialobrzewski, I., & Markowski, M., 2012, An approach to modeling the rheological properties of food materials. *Journal of Food Engineering*. 111, 351-359.

Rao, M, Rizvi, H., & Datta, K., 2005, *Engineering properties of foods* (3rd Ed.). Taylor and Francis Group. USA.

Rong, W., Qunying, J., & Deqiang, W., 2004, On the mechanical damage of grape using finite element analysis. *An ASAE/CSAE Meeting presentation*.

Schoorl, D., & Hplt, J., 1977, The effects of storage time and temperature on the bruising of Jonathan, Delicious and Granny Smith apples, *Journal of Texture Studied*. 8, 409-416.

Stroshine, R., 1994, Physical properties agricultural materials food products. *Course Manual. Purdue University Press, West Lafayette*. Indiana. USA

Tiback, E., Langton, M., Oliveria, J., & Ahme, L., 2014, Mathematical modeling of the viscosity of tomato, broccoli and carrot purees under dynamic conditions. *Journal of Food Engineering*, 124, 35-42.

Wu, T., & Abbott, J. A., 2002, Firmness and force relaxation characteristics of tomatoes stored intact or as slices, *Postharvest Biology and Technology*, 24, 59-68.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 858-866

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 866-858

Determination of rheological properties of tomato under quasi static loading conditions

M. Ghorbannejad Shahroudi[1]**, A. Golmohammadi**[2*]**, D. Kalanatri**[3]

Received: 2016.05.14
Accepted: 2016.10.03

Introduction: Mechanical damages in agricultural products cause wastes directly and indirectly. Bruise damage due to quasi static load is one of the most important reasons of fresh fruit quality loss. Agricultural crops undertake many mechanical loads and physical damages during different stages of harvesting and post-harvest such as handling, transport, storage and processing. In many cases imported loads cause mechanical damages and cellular wall rupture and this rupture leads to perturbation of natural cellular interchanges. This object is one of the important problems of modelling and experimental studies in Biosystems engineering sciences. Tomato is one of the most important horticultural products and a widely produced products in the world. Larg amounts of tomato products are destroyed during the different stages of harvesting, transport and packaging. To study the viscoelastic behavior of agricultural crops, rheology science is used which is the science of biological materials deformation and flow ability under affection of loads at different times. For prediction and classification of materials behavior under different conditions of stress and strain, different rheological models are used. These models include different combinations of metallic body (spring) and Newtonian liquid body (dashpot) that illustrate complex behavior of agricultural products. Determining of factors that affect deformation value of tomato, lead to reduction of product waste.

Materials and methods: In this study, the effect of some important parameters such as static loading at three levels (2, 6 and 10 N), storage temperature at two levels (4 and 25 ˚C), loading at two directions for two cultivars (Supper-Beta and Petoerly-CH), were studied on deformation value. Samples were handy harvested at approximate ripeness level (reddish pink) from greenhouse and transported to the Lab. Some physical properties (mass, volume, major and minor diameters, height, sphericity coefficient, surface area) were measured. Samples were subjected to compressive loading using university made apparatus. The Experiments were performed in a fifteen-day period, at two different conditions, ones at temperature 4 ˚C and the other at environmental temperature 25 ˚C, using factorial test in form of completely randomized design. The first test was performed under constant load of 6 N in two directions of fruit axials (Z and Y directions), The second test was performed in three levels 2 and 10 N in direction of calyx face. By indicator, deformation value of tomatoes at 2, 4, 7, 10, and 15 days after loading was investigated. The third test was performed under constant loads of 15 N and deformation values of samples were recorded every 10 mins during a 60-minute period.

Results and conclusions: The Results showed at temperature 25 ˚C, with increasing load from 2 up to 10 N, deformation value of the product would be increased about 65%. Increase of deformation value indicates the effect of loading time for products such as tomatoes. This phenomenon can be a result of bulk density ratio reduction of product during the storage, because biochemical reactions are effective in fruit ripening, activating the destructive enzymes of cellular wall during the storage, softening and color changes. Maintaining fruits in direction of calyx face leads to lower deformation in comparison with 90 degrees proportion to calyx. This phenomenon is because of tomato tissue, its tissue in direction of calyx is harder and stiffer of normal direction, because of being flower. By reducing temperature from 25 to 4 ˚C, at constant load of 6N, deformation was decreased about 40%. With decreasing temperature, viscosity of biologic products would be increased and cellular walls get brittle and tissue stiffness increase. Therefore, it seems logical that deformation value of product at lower temperature decreases. Super-Beta cultivar had more durability in comparison with Petoerly-CH against compressive static loads. Under constant loading conditions, General Kelvin rheological model was considered suitable to estimate the strain versus time.

---

1 and 2. Former MSc student and Associated Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University
3. Assistant Professor, Department of Mechanical Bio-system, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari.
(*Corresponding author Email: agolmohammadi42@gmail.com)

Key Words: variety, compression loading, rheological properties, deformation

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 867-879

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 879-867

استفاده از فناوری ماشین بینایی در ارزیابی ظاهری دونات پیش‌فرآیند شده توسط مایکروویو

مهران نوری[1]- بهزاد ناصحی*[2]- وحید سماواتی[3]- سامان آبدانان مهدی‌زاده [4]

تاریخ دریافت: 1395/02/10
تاریخ پذیرش: 1395/04/19

چکیده

در این پژوهش از تکنیک‌های ماشین بینایی به‌منظور بررسی اثر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های ظاهری دونات استفاده شد. آزمایش‌ها بر اساس روش سطح پاسخ با یک طرح باکس-بنکن طراحی شد. متغیرهای مستقل شامل توان مایکروویو (900-300 وات)، مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو (90-30 ثانیه) و مدت‌زمان سرخ کردن (130-70 ثانیه) بود. همچنین متغیرهای وابسته شامل ویژگی‌های بافت سطحی، شاخص‌های رنگ پوسته، ویژگی‌های ساختار مغز و پذیرش مصرف‌کننده بود. نتایج نشان داد افزایش سطح توان مایکروویو، مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن سبب افزایش قابل‌توجه زبری سطح نمونه‌ها شد. نتایج همچنین نشان داد اثرات مثبت خطی همه متغیرهای مستقل و اثر منفی درجه دوم توان مایکروویو بر ویژگی‌های ساختار مغز دونات معنی‌دار بود. در مورد رنگ نمونه‌ها، نتایج نشان داد که شاخص‌های L^* و a^* سطح نمونه‌ها با افزایش سطح مدت‌زمان سرخ کردن به‌ترتیب به‌طور قابل‌توجهی کاهش و افزایش یافتند. نتایج حاصل از پذیرش مصرف‌کننده حاکی از تأثیر قابل‌توجه مدت‌زمان سرخ کردن بر نمرات حسی بود. همچنین نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان‌دهنده وجود ارتباط خطی قوی بین ویژگی‌های ظاهری و خصوصیات حسی دونات بود.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های ظاهری، دونات، ماشین بینایی، پیش‌فرآیند مایکروویو

مقدمه

فرآورده‌های غلات از شروع شکل‌گیری تمدن‌ها، عمده‌ترین منابع غذایی جوامع بشری را تشکیل داده‌اند (Kent & Amos, 1967). امروزه فرآورده‌های گوناگونی از غلات با فرمولاسیون‌ها و روش‌های پخت متفاوت توسعه پیدا کرده است. دونات[5] یکی از فرآورده‌های غلات است که به دلیل فرآیند تولید آن‌ها (سرخ کردن به شیوه غوطه‌وری) از ویژگی‌های حسی مطلوبی برخوردار است، با این‌حال متأسفانه این فرآورده طی سرخ کردن مقدار زیادی روغن به خود جذب می‌کنند (Brannan *et al.*, 2014). طی سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی ازجمله پیش‌فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی شامل پیش خشک‌کردن و پیش پخت نمودن به‌منظور کاهش جذب روغن طی سرخ کردن توسعه یافته است (Adedji *et al.*, 2009). Melito و Farkas (2012) کاهش جذب روغن در دونات سرخ شده توسط پس‌فرآیند فروسرخ را گزارش کردند. همچنین طی پژوهش دیگری Oztop و همکاران (2007) استفاده از فناوری مایکروویو را در تهیه فرآورده‌های غذایی سرخ شده گزارش کردند. امروزه آون مایکروویو، به یک وسیله خانگی رایج برای پخت و پز تبدیل شده است. در مقایسه با روش‌های رایج، گرمادهی مایکروویو مزیت‌های زیادی ازجمله صرفه‌جویی در انرژی، کوتاه نمودن مدت‌زمان پخت یا گرم نمودن غذا و بهبود ریزساختار محصول را فراهم می‌کند (Ngadi *et al.*, 2009)؛ بنابراین استفاده از مایکروویو در پخت فرآورده‌هایی از جمله دونات می‌تواند مفید باشد، همان‌طوری که نوری (1394) نشان داد پیش‌پخت دونات با استفاده از انرژی مایکروویو می‌تواند مدت‌زمان فرآیند سرخ کردن و متعاقب آن جذب روغن را کاهش دهد. با این وجود به‌کارگیری فناوری مایکروویو در پخت مواد غذایی ممکن است بر ویژگی‌های ظاهری و پذیرش مصرف‌کننده تأثیرگذار باشد.

ظاهر فرآورده‌های غذایی یکی از ویژگی‌های مهم کیفی این مواد است که با طعم محصول همبستگی داشته و بر درک بینایی مصرف‌کننده تأثیر بسزایی دارد (Brosnan & Sun, 2004). اگرچه مهم‌ترین شاخص‌های کیفی محصولات غذایی شامل ویژگی‌های تغذیه‌ای، شیمیایی، مکانیکی، سلامتی بخشی و حسی است، با این وجود، پذیرش محصول در درجه اول بستگی به ویژگی‌های ظاهری

1، 2و 3- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
4- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
(* - نویسنده مسئول: Email: b_nasehi@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55526
5 Donuts (Doughnuts)

آن دارد؛ به شکلی که یک محصول با ظاهری مطلوب توسط اغلب مصرف‌کننده‌ها پذیرفته می‌شود (ElMasry *et al.*, 2012).

طی سال‌های اخیر از فناوری ماشین بینایی به‌طور موفقیت‌آمیزی برای بررسی ویژگی‌های ظاهری فرآورده‌های غذایی و کشاورزی استفاده شده است (Brosnan & Sun, 2004). ماشین بینایی، شامل تصویربرداری، پردازش و آنالیز تصاویر است که می‌تواند سبب تسهیل در ارزیابی سریع و غیرمخرب ویژگی‌های ظاهری محصولات غذایی شود (Du & Sun, 2004). از جمله مشخصه‌های ظاهری فرآورده‌های غذایی، رنگ و خصوصیات ساختار مغز مانند تعداد، مساحت و دانسیته سلول‌های گاز و تخلخل بافت مغز است که طی سال‌های اخیر به‌خوبی توسط تکنیک‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Balestra *et al*., 2013; Hager & Arendt, 2013; Hirte *et al*.,2012; Manzocco *et al*., 2012; Purhagen *et al*., 2011; Ziobro *et al*., 2013). بافت سطحی از دیگر مشخصه‌های ظاهری مواد غذایی است که بیان‌کننده آرایش فضایی سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر است (Jackman & Sun, 2013). خصوصیات بافت سطحی که می‌تواند اطلاعات مفیدی از جمله زبری و ناهمواری سطح فرآورده را در اختیار پژوهشگران قرار دهد نیز در مطالعات پیشین به‌خوبی در ارزیابی‌های کیفی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است (Chandraratne *et al*., 2007; Fongaro & Kvaal, 2013; Jackman *et al*., 2009).

بنابراین از آنجایی که ظاهر فرآورده اولین مشخصه‌ای است که توسط مصرف‌کننده درک می‌شود و بر تصمیم فرد بر خرید محصول نقش بسزایی دارد، مطالعه تأثیر فرآیندهای تکنولوژیکی بر ویژگی‌های ظاهری (ویژگی‌های رنگی و بافت سطحی) مواد غذایی ضروری به نظر می‌رسد (Fongaro & Kvaal, 2013). از این رو با توجه به ارتباط ویژگی‌های ظاهری و پذیرش مصرف‌کننده و امکان تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو بر ویژگی‌های ظاهری، در این پژوهش با استفاده از فناوری ماشین بینایی تأثیر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های ظاهری دونات بررسی شد. همچنین ارتباط بین ویژگی‌های ظاهری و پذیرش مصرف‌کننده دونات مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های دونات بر اساس فرمولاسیون مورد استفاده توسط ملیتو و فارکاس (2013) با اندکی اصلاحات تهیه شد (جدول 1). اصلاح فرمولاسیون شامل استفاده از پودر تفاله هویج و صمغ فارسی به‌منظور بهبود محتوی فیبر خوراکی و کاهش جذب روغن بود. صمغ فارسی از درختان بادام کوهی واقع در شهرستان نورآباد لرستان در شهریور 1393 جمع‌آوری و توسط اتانول (96 درصد) شسته شد. سپس صمغ‌های یکرنگ (سفید شفاف) پس از خشک شدن توسط آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر شد. به‌منظور تهیه پودر تفاله هویج، پس از فرآیند آب‌میوه‌گیری توسط یک دستگاه آب‌میوه‌گیر (پارس خزر، JC-700P ایران) تفاله هویج توسط آون (Heraeus, T 5042, Germany) (60 °C) به مدت 12 ساعت خشک شد. تفاله خشک‌شده توسط دستگاه آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر شد. تعیین سطوح مناسب منابع فیبریِ پودر تفاله هویج و صمغ فارسی بر اساس نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و حسی و بهینه‌سازی فرمولاسیون بود (نوری، 1394).

جدول 1- فرمولاسیون دونات

اجزاء سازنده	وزن (درصد) (بر اساس وزن آرد)	مشخصات
آرد گندم	100/00	9 درصد پروتئین، شرکت آرد جنوب، خوزستان، ایران
آب	52/00	-
آب برای مخمر	14/00	-
تخم‌مرغ	14/00	تهیه‌شده از فروشگاه‌های محلی
شورتنینگ	9/75	شرکت بهشهر، تهران، ایران
پودر تفاله هویج	7/00	تهیه شده در آزمایشگاه شیمی مواد غذایی
صمغ فارسی	1/30	تهیه شده از درختان بادام کوهی واقع در شهرستان نورآباد لرستان
شکر	6/80	تهیه‌شده از فروشگاه‌های محلی
پودر شیر خشک بدون چربی	6/80	شرکت پگاه، خوزستان، ایران
مخمر خشک فعال	3/25	شرکت ناب مایه، خوزستان، ایران
نمک	1/70	تهیه‌شده از فروشگاه‌های محلی
عصاره وانیل	1/70	شرکت رنگ و اسانس آبیاز شیمی، تهران، ایران
بیکینگ پودر	1/70	شرکت سهیل پودر، تهران، ایران

تهیه دونات

برای تهیه دونات شکر، پودر شیر خشک بدون چربی، نمک و شورتنینگ در یک کاسه جدا با هم مخلوط و سپس تخم‌مرغ به این مخلوط اضافه شد. صمغ فارسی در آب حل و پس از افزودن آن به کاسه، عصاره وانیل به مخلوط اضافه شد. با مخلوط مخمر و آب مخصوص آن (35 ºC) در یک ظرف جداگانه، سوسپانسیون مخمر تهیه و به مدت 5 دقیقه نگه داشته شد. آرد گندم و پودر تفاله هویج در یک کاسه جداگانه با بیکینگ‌پودر مخلوط شده و به سایر اجزاء اضافه شد. سپس سوسپانسیون مخمر به مخلوط افزوده و این مخلوط تا تشکیل یک خمیر مناسب ورز داده شد. در انتها خمیر به قطعاتی یک‌شکل به وزن تقریباً 50 گرم بریده شد. قطعات خمیر پس از طی فرآیند تخمیر (27 ºC به مدت 30 دقیقه) تحت پیش‌فرآیند مایکروویو در توان‌ها و زمان‌های مختلف (طبق طرح آزمایش‌ها) قرار گرفت. سپس نمونه‌های پیش‌فرآیند شده در یک سرخ‌کن (Moulinex, F18-RA, France) حاوی روغن مخصوص سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، پالم و سویا) (بهار، شرکت صنعتی بهشهر، تهران، ایران) در دمای 2ºC± 180 و برای مدت‌زمان‌های مختلف (طبق طرح آزمایش‌ها) سرخ شد. دونات‌ها پس از خنک شدن در دمای اتاق و بر روی دستمال‌های کاغذی در بسته‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده بسته‌بندی شدند.

آنالیز تصویر

تصویربرداری از نمونه‌های دونات 12 ساعت پس از پخت همزمان با ارزیابی‌های حسی انجام شد. بررسی ویژگی‌های رنگی و ریخت‌شناسی نمونه‌ها با استفاده از یک سیستم آنالیز تصویر شامل یک دوربین تصویربرداری دیجیتال (Canon PowerShot SX60 HS, Japan) و یک کامپیوتر شخصی (Pentium(R) Dual-Core processor and Windows 7 Ultimate) انجام شد. تصویربرداری در یک فاصله ثابت 30 سانتی‌متری از نمونه‌های قرار گرفته در یک جعبه سیاه (با ابعاد $100\times100\times100$ cm^3 و با نورپردازی با زاویه 45 درجه توسط لامپ‌های فلوئور سنتی) انجام شد. تصاویر سپس به محیط MATLAB R2014a (The MathWorks Inc., Natick, Mass, USA) انتقال داده و توسط این نرم‌افزار ویژگی‌های رنگی و ریخت‌شناسی استخراج شد.

رنگ دونات

برای تعیین رنگ پوسته نمونه‌ها از مدل رنگی CIE L*a*b* (یا CIELAB) استفاده شد. ازآنجایی‌که تصاویر در فضای رنگی RGB گرفته شده بود، عملیات تبدیل فضای رنگی، برای به دست آوردن شاخص‌های CIE L*a*b* انجام شد. پس از عملیات تبدیل فضای رنگی سه شاخص L^* که بیان‌کننده مقدار روشنایی تصویر است، a^* که بیان‌کننده قرمزی (مقادیر مثبت) و سبزی (مقادیر منفی) است و b^* بیان‌کننده زردی (مقادیر مثبت) و آبی (مقادیر منفی) بودن است تعیین شد (Quevedo *et al.*, 2009).

ساختار مغز دونات

به‌منظور بررسی ساختار مغز دونات از هر تیمار 10 تصویر رنگی (RGB) (24 بیتی) از مغز نمونه‌ها تهیه شد. تصاویر پس از انتقال به محیط متلب، توسط نرم‌افزار به فرم خاکستری[1] (8 بیتی) تبدیل شد. عملیات بخش‌بندی پس از بهبود تباین تصاویر بر روی یک ناحیه 3×3 cm^2 از مرکز هر تصویر، با استفاده از الگوریتم Otsu صورت پذیرفت (Otsu, 1979). در این پژوهش از دو شاخص دانسیته سلول‌ها (تعداد سلول در cm^2) و مساحت سلول‌ها (mm^2) برای مطالعه ساختار مغز نمونه‌های دونات استفاده شد (Hager & Arendt, 2013; Sánchez-Pardo *et al.*, 2012).

بافت سطحی دونات

در این مطالعه از ماتریس هم رخداد سطح خاکستری[2] برای محاسبه شاخص‌های بافت سطحی استفاده شد. برای این منظور، پس از انتقال تصاویر به محیط متلب، شاخص‌های ممان درجه دوم زاویه‌ای[3] یا انرژی[4]، تباین[5]، همبستگی[6]، همگنی[7] و انتروپی[8] جدول 2) 2) به‌عنوان توصیف‌کننده بافت سطحی توسط الگوریتم ماتریس هم رخداد سطح خاکستری محاسبه شد (Fongaro & Kvaal, 2013).

پذیرش مصرف‌کننده

برای بررسی پذیرش مصرف‌کننده، ارزیابی حسی نمونه‌های دونات به کمک یک گروه 15 نفره شامل 5 زن و 10 مرد از دانشجویان گروه صنایع غذایی انجام شد. نمونه‌های دونات بر اساس پذیرش ظاهر پوسته، ظاهر مغز، رنگ پوسته، آروما، بافت، طعم و مزه و پذیرش کلی در یک مقیاس هدونیک 9 نقطه‌ای و نمره‌دهی از 1 (دوست نداشتن شدید) تا 9 (دوست داشتن شدید) مورد ارزیابی قرار گرفتند (Stone *et al.*, 2012).

---

1 Gray scale
2 Grey-level co-occurrence matrices GLCM()
3 Angular Second Moment (ASM)
4 Energy (ENR)
5 Contrast (CON)
6 Correlation (COR)
7 Homogeneity (HOM)
8 Entropy (ENT)

آنالیز همبستگی

در این پژوهش، ارتباط بین شاخص‌های ظاهری و شاخص‌های حسی با استفاده از مقادیر ضریب همبستگی (r) که مقیاسی از رابطه خطی بین دو متغیر است مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب همبستگی با استفاده از رابطه (1) و با استفاده از نرم‌افزار (SAS Institute, SAS 9.1 Cary, NC) محاسبه گردید.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 . \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

در این رابطه x_i و y_i اندازه‌گیری متغیر X و Y ($i= 1, 2, ..., n$) و همچنین $\bar{x}$ و $\bar{y}$ میانگین‌های نمونه X و Y می‌باشند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش برای طراحی آزمایش‌ها از شیوه سطح پاسخ (RSM) و یک طرح باکس-بنکن استفاده شد (Montgomery, 2013). متغیرهای مستقل (فاکتورها) شامل توان مایکروویو (MP) (وات)، مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو (MT) (ثانیه) و مدت‌زمان سرخ کردن (ثانیه) بود. طبق آزمایش‌های مقدماتی دامنه هریک از متغیرهای مستقل تعیین (جدول 3) و پس از آن، 17 آزمون توسط نرم‌افزار ارائه شد (جدول 4).

جدول 2- توصیف‌کننده‌های بافت سطحی به‌دست‌آمده از ماتریس هم رخداد سطح خاکستری

توصیف گر	فرمول	شرح
آ) انرژی	$ASM = \sum_i \sum_j p^2(i,j)$ $ENR = \sqrt{ASM}$	انرژی، مجموع مربعات عناصر *GLCM* را محاسبه می‌کند. این توصیف گر معیاری از نظم است و یکنواختی یک تصویر را نشان می‌دهد. بازه آن [۰،۱] است. مقدار 1 نشان‌دهنده صاف و یکنواخت بودن تصویر است.
ب) تباین	$CON = \sum_{n=0}^{D} n^2 \left(\sum_i \sum_j p(i,j) \right)_{\lvert i-j \rvert = n}$	تباین میزان تغییرات منطقه‌ای موجود در تصویر را نشان می‌دهد. تصاویر صاف دارای مقدار تباین صفر می‌باشند.
پ) همبستگی	$COR = \frac{\sum_i \sum_j (ij) - \mu^2}{\sigma^2}$ $\mu = \sum_i \sum_j iP(i,j)$	این شاخص اندازه‌ای از مقدار همبستگی یک پیکسل با پیکسل مجاورش در کل تصویر می‌باشد. بازه آن [۱،۱-] است. تصاویر صاف مقدار همبستگی تعریف نشده‌ای دارند (*COR = NaN*). μ مقدار متوسط ماتریس است.
ت) همگنی	$HOM = \sum_{i,j} \frac{P(i,j)}{1 + \lvert i-j \rvert}$	این شاخص تراکم توزیع عناصر *GLCM* را نسبت به *GLCM* قطری محاسبه می‌کند. همگنی برای یک *GLCM* قطری برابر 1 است.
ث) انتروپی	$ENT = -\sum_i \sum_j P(i,j)\log(P(i,j))$	انتروپی یک مقدار آماری از بی‌نظمی است. تصاویر با انتروپی پایین‌تر صاف‌تر می‌باشند.

جدول 3- دامنه و سطوح هر یک از متغیرهای مستقل در طرح باکس-بنکن

متغیر مستقل (فاکتور)	نماد فاکتور	سطوح فاکتور		
		1	0	-1
توان مایکروویو (وات)	X_1	900	600	300
زمان مایکروویو (ثانیه)	X_2	90	60	30
زمان سرخ‌کردن (ثانیه)	X_3	130	100	70

ویژگی‌های رنگی (L*,a*,b*)، ویژگی‌های بافت سطحی (انرژی، تباین، همبستگی، همگنی و انتروپی) و ویژگی‌های ساختار مغز (مساحت و دانسیته سلول‌ها) و همچنین ویژگی‌های حسی شامل، ظاهر پوسته، ظاهر مغز، رنگ پوسته، آروما، بافت، طعم و مزه و پذیرش کلی که بهترین توصیف را از ویژگی‌های ظاهری و حسی دونات دارند به‌عنوان متغیرهای وابسته (پاسخ) در نظر گرفته شد. پس از انجام آنالیز رگرسیون مدل‌های چندجمله‌ای درجه دوم برای هر یک از پاسخ‌ها برازیده شد (معادله 2).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{3} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=i+1}^{3} \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

در این رابطه Y، β_0، β_i، β_{ii} و β_{ij} به ترتیب پاسخ، ثابت معادله (عرض از مبدأ)، ضریب اثرات خطی، ضریب اثرات درجه دوم و ضریب اثرات متقابل می‌باشند. همچنین x_i و x_j سطوح متغیرهای غیر وابسته می‌باشند. با استفاده از آنالیز واریانس و بر اساس شاخص p-value، معنی‌داری مدل‌ها و عبارات معادله مورد بررسی و

فاکتورهای غیرمعنی‌دار مشخص شد. همچنین شاخص‌های عدم تناسب، ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل شده ($adj\text{-}R^2$)، ضریب تغییرات (CV)، شاخص دقت کفایت[9] به‌منظور بررسی کفایت مدل محاسبه شد (Homayoonfal *et al.*, 2015). طراحی و آنالیز آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) انجام شد.

نتایج و بحث

برازش مدل

در این مطالعه با استفاده از شیوه سطح پاسخ، 17 آزمون طراحی و سپس آنالیز واریانس و رگرسیون به‌منظور برازش مدل‌های سطح پاسخ و بررسی معنی‌داری عبارات مدل انجام شد (جدول‌های 5 و 7). نتایج آنالیز واریانس نشان داد به‌استثنای شاخص همبستگی، برای سایر پاسخ‌ها مدل چندجمله‌ای درجه دوم معنی‌دار ($p<0/05$) بود. همچنین شاخص عدم برازش که معیاری از کیفیت برازش مدل‌ها است و دقت مدل در پیش‌بینی تغییرات را نشان می‌دهد (Homayoonfal *et al.*, 2015)، غیرمعنی‌دار ($p>0/05$) بود. آنالیز آماری نشان داد که کفایت مدل‌های معنی‌دار برای پیش‌بینی، به دلیل ضریب تعیین بالا، رضایت‌بخش بود (Chauhan & Gupta, 2004). گزارش شده است که ضریب تعیین یک مدل برازش شده مناسب، بهتر است بالاتر از 0/80 باشد (Homayoonfal *et al.*, 2015)، با این وجود برخی پژوهشگران مدل‌هایی با ضریب تعیین بالاتر از 0/75 را نیز موردپذیرش قرار داده‌اند (Chauhan & Gupta, 2004). با نزدیک شدن این ضریب به واحد، تغییرات در داده‌های پاسخ می‌تواند به‌خوبی به‌وسیله مدل‌های رگرسیون توضیح داده شود (Homayoonfal *et al.*, 2015). شاخص ضریب تغییرات، تغییرات غیرقابل توضیح یا باقی‌مانده در داده‌ها را به‌عنوان درصدی از میانگین تغییرات پاسخ محاسبه می‌کند (Montgomery, 2013). مقادیر پایین‌تر این شاخص، تکرارپذیری بهتری را فراهم می‌نمایند. به‌طورکلی ضریب تغییرات بالاتر از 10 نشان‌دهنده تغییرات بالا در میانگین است و برای یک مدل رضایت‌بخش نیست (Samavati *et al.*, 2014). نتایج نشان داد که در اغلب مدل‌های برازش شده ضریب تغییرات دارای مقادیر رضایت‌بخشی بود. شاخص کفایت دقت از تقسیم تفاوت بین پاسخ برآورد شده بیشینه و پاسخ برآورد شده کمینه بر متوسط انحراف معیار همه پاسخ‌های برآورد شده محاسبه می‌شود. مقادیر بالای این شاخص مطلوب است، به‌طوری‌که مقادیر بالای 4 نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی است (Montgomery, 2013). در این مطالعه، به‌استثنای شاخص همبستگی، سایر مدل‌های پیشنهاد شده دارای دقت کفایت بالاتر از 4 بودند.

ساختار مغز دونات

مقادیر شاخص‌های ساختار مغز نمونه‌های دونات در جدول 4 گزارش شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه متغیرهای مستقل دارای تأثیر خطی مثبت معنی‌داری($p<0/01$) بر ویژگی‌های ساختار مغز می‌باشند. همچنین توان مایکروویو دارای یک تأثیر درجه دوم منفی معنی‌داری ($p<0/05$) بر این پاسخ‌ها بود. شاخص مساحت سلول‌ها نیز تحت تأثیر منفی درجه دوم معنی‌دار ($p<0/05$) مدت‌زمان مایکروویو بود. یک رابطه مثبت متقابل معنی‌دار ($p<0/05$) بین توان مایکروویو و مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو بر این پاسخ‌ها نیز وجود داشت (جدول 5).

نتایج نشان داد که علیرغم کم‌تر بودن دانسیته سلول‌های گاز در نمونه‌های پیش پخت شده توسط انرژی مایکروویو نسبت به نمونه کنترل، سلول‌های این نمونه‌ها دارای مساحت نسبتاً بیشتری بودند (جدول 4). بیشتر بودن مساحت و کمتر بودن دانسیته سلول‌ها نشان‌دهنده اندازه بزرگ‌تر سلول‌های گاز است. وجود سلول‌های نسبتاً بزرگ در فرآورده‌های پخته‌شده توسط مایکروویو به مغز این محصولات ظاهری غیرمنظم و غیریکنواخت می‌دهد. این خصوصیات ظاهر مغز فرآورده‌های پخت شده توسط مایکروویو طی پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است (Sanchez-Pardo *et al.*, 2008; Sumnu & Sahin, 2005). بزرگ‌تر بودن سلول‌های گاز طی پخت مایکروویو می‌تواند ناشی از حضور ترکیبات روغنی فرمولاسیون باشد که به‌عنوان روان کننده‌هایی از تخریب حباب‌های گاز طی انبساط جلوگیری می‌کنند (Aguilera & Stanley, 1999). همچنین حرارت زیاد ایجادشده توسط مایکروویو سبب افت رطوبت بالا در ماده غذایی می‌شود که درنتیجه آن یک گرادیان فشار بالا به وجود می‌آید. به وجود آمدن گرادیان فشار بالا در مغز فرآورده طی پخت مایکروویو می‌تواند در بزرگ‌تر شدن سلول‌های گاز تشکیل شده مؤثر باشد (Turabi et al., 2010). Ozkoc و همکاران (2009) طی پخت نان توسط آون‌های مختلف و همچنین Turabi و همکاران (2010) طی پخت کیک در آون فروسرخ- مایکروویو نتایجی مشابه پژوهش حاضر گزارش نمودند.

رنگ پوسته دونات

مقادیر شاخص‌های رنگ پوسته دونات در جدول 4 گزارش شده است. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد مدت‌زمان سرخ کردن تأثیر مثبت خطی معنی‌داری ($p<0/05$) بر شاخص a^* پوسته و تأثیر منفی خطی معنی‌داری ($p<0/05$) بر L^* پوسته داشتند. مدت‌زمان مایکروویو

9 Adequate precision

نیز تأثیر منفی خطی معنی‌داری (p<0/05) بر L^* پوسته داشت. مدت‌زمان سرخ کردن همچنین دارای اثر منفی درجه دوم معنی‌داری بر L^* و b^* پوسته بود. همچنین اثر منفی متقابل متغیرهای توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن بر b^* پوسته معنی‌دار (p<0/05) بود. تأثیر مدت‌زمان سرخ کردن بر قهوه‌ای شدن رنگ پوسته ناشی از واکنش‌های غیر آنزیمی مایلارد است که بین آمینواسیدها و قندهای احیاکننده در حضور گرما رخ می‌دهند (Turabi *et al.*, 2008). طی پخت مایکروویو هوای مجاور فرآورده سرد است و بخارآب خارج شده از فرآورده با برخورد با این هوا کندانس شده و سبب عدم تردی فرآورده می‌شود (Chandrasekaran *et al.*, 2013). ازاین‌رو طی فرآیند پخت توسط مایکروویو، پوسته ترد و قهوه‌ای‌رنگ در فرآورده ایجاد نمی‌شود. پژوهش‌های گذشته نیز به‌خوبی عدم قهوه‌ای شدن رنگ فرآورده‌های پخته‌شده توسط مایکروویو را گزارش نموده‌اند (Içöz *et al.*, 2004; Ozmutlu *et al.*, 2001; Sumnu, 2001; Turabi *et al.*, 2008).

بافت سطحی دونات

مقادیر توصیف‌کننده‌های سطحی در جدول 4 گزارش شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن تأثیر خطی منفی معنی‌داری (p<0/01) بر شاخص‌های انرژی، همبستگی و همگنی داشت. همچنین این متغیرهای مستقل تأثیر خطی مثبت قابل‌توجهی(p<0/001) بر تباین و انتروپی سطح نمونه‌های دونات داشتند. اثرات منفی درجه دوم مدت‌زمان سرخ کردن بر شاخص‌های انرژی و همگنی معنی‌دار و اثرات مثبت درجه دوم این متغیر بر شاخص‌های تباین و انتروپی معنی‌دار (p<0/05) بود (جدول 4). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن بر غیریکنواختی و زبرتر شدن سطح نمونه‌ها بود. افزایش توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن می‌تواند سبب افزایش نرخ خروج بخارآب از طریق پوسته فرآورده طی فرآیند پخت شود. درنتیجه غیریکنواختی و زبرتر شدن سطح نمونه‌ها را می‌توان ناشی نرخ بالای خروج بخارآب از طریق سطح نمونه‌ها دانست.

پذیرش مصرف‌کننده

نمرات ارزیاب‌های حسی در جدول 6 گزارش شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد اثرات خطی مثبت توان مایکروویو بر شاخص‌های حسی رنگ مغز، طعم مزه و پذیرش کلی معنی‌دار(p<0/05) و اثرات منفی این متغیر بر شاخص‌های ظاهر پوسته معنی‌دار (p<0/05) بود.

جدول 4- فاکتورها و پاسخ‌های ویژگی‌های ظاهری به‌دست‌آمده در طرح باکس-بنکن

آزمون	متغیرهای غیر وابسته (فاکتورها)			متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)									
	X_1	X_2	X_3	انرژی	تباین	همبستگی	همگنی	انتروپی	دانسیته سلول‌ها	مساحت سلول‌ها	L*	a*	b*
1	600	90	70	0/50	0/06	0/89	0/97	5/56	333/44	174/32	82/12	7/07	36/49
2	600	30	70	0/57	0/05	0/90	0/98	5/52	312/03	170/47	84/76	6/71	37/03
3	900	60	70	0/52	0/09	0/82	0/96	5/83	312/01	170/49	84/33	7/86	38/76
4	900	90	100	0/41	0/10	0/81	0/95	5/74	375/77	191/05	81/49	9/08	36/93
5	600	60	100	0/60	0/06	0/74	0/97	5/53	354/08	185/72	83/45	8/59	36/85
6	600	60	100	0/63	0/06	0/74	0/97	5/60	356/92	184/70	82/94	8/83	35/92
7	600	60	100	0/56	0/08	0/89	0/96	5/60	340/81	186/37	84/35	8/00	34/94
8	300	60	70	0/67	0/04	0/90	0/98	5/32	293/07	168/62	86/33	6/05	35/72
9	600	60	100	0/56	0/08	0/87	0/96	5/55	350/74	182/48	84/16	7/16	37/23
10	300	30	100	0/67	0/04	0/90	0/98	5/34	304/76	169/50	85/33	7/68	35/74
11	600	60	100	0/53	0/09	0/88	0/96	5/72	362/03	186/18	83/02	9/03	35/53
12	300	60	130	0/56	0/09	0/87	0/96	5/68	329/91	181/01	81/05	14/25	31/44
13	600	90	130	0/41	0/13	0/80	0/93	6/20	376/53	188/52	79/16	12/57	30/44
14	900	30	100	0/51	0/08	0/84	0/96	5/81	326/94	175/35	82/23	8/34	36/07
15	300	90	100	0/58	0/05	0/85	0/98	5/52	296/42	172/62	81/00	7/78	35/67
16	600	30	130	0/39	0/13	0/80	0/94	6/08	342/61	181/02	78/28	15/25	31/04
17	900	60	130	0/33	0/15	0/75	0/93	6/10	385/13	191/77	76/79	17/22	30/05
کنترل	-	-	200	0/58	0/15	0/61	0/93	5/61	412/85	176/44	79/03	16/89	64/51

جدول 5- ضرایب رگرسیون معادلات درجه دوم پاسخ‌های ویژگی‌های ظاهری

منبع	متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)									
	انرژی	تباین	همبستگی	همگنی	انتروپی	دانسیته سلول‌ها	مساحت سلول‌ها	L*	a*	b*
β_0	0/58	0/073	0/82	0/96	5/60	352/92	185/09	83/58	8/32	36/09
β_1	$-0/091^{***}$	$0/026^{***}$	$-0/038^{ns}$	$-0/014^{***}$	$0/20^{***}$	$21/96^{***}$	$4/61^{**}$	$-0/12^{ns}$	$0/84^{ns}$	$0/41^{ns}$
β_2	$-/028^{ns}$	$0/004^{ns}$	$-0/012^{ns}$	$-0/003^{ns}$	$0/033^{ns}$	$12/10^{**}$	$3/77^{**}$	$-0/86^{ns}$	$-0/18^{ns}$	$-0/044^{ns}$
β_3	$-0/071^{**}$	$0/033^{***}$	$-0/038^{ns}$	$-0/015^{***}$	$0/23^{***}$	$22/83^{***}$	$7/30^{***}$	$-2/78^{****}$	$3/95^{****}$	$-3/13^{****}$
$\beta_1 \beta_1$	$0/01^{ns}$	$-/006^{ns}$	$0/008^{ns}$	$0/004^{ns}$	$-0/049^{ns}$	$-18/91^{**}$	$-4/29^{**}$	$-0/006^{ns}$	$0/42^{ns}$	$0/13^{ns}$
$\beta_2 \beta_2$	$-0/043^{ns}$	$-0/003^{ns}$	$0/019^{ns}$	$-0/0002^{ns}$	$0/056^{ns}$	$-8/03^{ns}$	$-3/68^{*}$	$-1/05^{ns}$	$-0/52^{ns}$	$-0/12^{ns}$
$\beta_3 \beta_3$	$-0/066^{**}$	$0/020^{*}$	$0/004^{ns}$	$-0/011^{*}$	$0/18^{**}$	$-3/98^{ns}$	$-2/83^{ns}$	$-1/45^{*}$	$2/60^{ns}$	$-2/23^{***}$
$\beta_1 \beta_2$	$-0/01^{ns}$	$-0/0005^{ns}$	$0/005^{ns}$	$-0/0008^{ns}$	$-0/061^{ns}$	$14/29^{*}$	$3/14^{*}$	$0/91^{ns}$	$0/16^{ns}$	$0/23^{ns}$
$\beta_1 \beta_3$	$-0/017^{ns}$	$0/001^{ns}$	$-0/009^{ns}$	$-0/0008^{ns}$	$-0/024^{ns}$	$9/07^{ns}$	$2/22^{ns}$	$-0/56^{ns}$	$0/29^{ns}$	$-1/11^{*}$
$\beta_2 \beta_3$	$0/023^{ns}$	$-0/005^{ns}$	$0/004^{ns}$	$0/002^{ns}$	$0/020^{ns}$	$3/38^{ns}$	$0/91^{ns}$	$0/88^{ns}$	$-0/76^{ns}$	$-0/015^{ns}$
Model (p-value)	0/0023	0/0020	0/6675	0/0028	0/0028	0/0005	0/0006	0/0015	0/0003	0/0003
Lack of fit (p-value)	0/6245	0/6018	0/8974	0/5090	0/1563	0/3259	0/0921	0/1258	0/2292	0/8795
R^2	0/9336	0/9363	0/4891	0/9300	0/9301	0/9574	0/9561	0/9422	0/9642	0/9625
Adj-R^2	0/8483	0/8544	-0/1678	0/8401	0/8402	0/9026	0/8997	0/8679	0/9183	0/9144
CV (%)	7/20	15/64	7/47	0/67	1/77	2/62	1/39	1/14	9/81	2/19
Adeq Precision	11/068	12/311	3/200	11/503	11/193	13/170	12/384	11/068	14/768	14/397

ns، *، **، *** و **** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی¬داری، معنی‌داری در سطح $p<0/05$، معنی‌داری در سطح $p<0/01$، معنی‌داری در سطح $p<0/001$ و معنی‌داری در سطح $p<0/0001$ می‌باشند.

جدول 6- فاکتورها و پاسخ‌های ویژگی‌های حسی به‌دست‌آمده در طرح باکس-بنکن

آزمون	متغیرهای غیر وابسته (فاکتورها)			متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)						
	X_1	X_2	X_3	ظاهرپوسته	ظاهرمغز	رنگ‌پوسته	آروما	بافت	طعم و مزه	پذیرش کلی
1	600	90	70	7/19	5/01	4/66	4/77	4/94	5/34	6/24
2	600	30	70	7/26	4/12	4/54	4/39	4/76	4/01	5/61
3	900	60	70	6/98	3/54	4/76	5/14	3/78	5/14	6/04
4	900	90	100	6/09	6/02	5/65	5/88	4/52	5/26	6/76
5	600	60	100	6/13	4/77	5/88	5/36	6/43	6/06	6/96
6	600	60	100	6/95	4/23	6/12	6/08	6/08	6/37	7/07
7	600	60	100	6/01	5/43	5/88	5/69	6/92	5/63	6/53
8	300	60	70	7/72	3/45	4/56	4/08	4/02	3/66	4/56
9	600	60	100	7/02	4/76	5/77	6/17	6/84	6/01	6/91
10	300	30	100	7/30	3/25	5/01	5/19	4/97	4/36	5/26
11	600	60	100	6/61	4/77	6/25	5/61	6/86	5/78	6/68
12	300	60	130	6/30	6/02	7/96	6/63	4/64	5/22	6/12
13	600	90	130	5/02	7/13	7/77	6/88	6/17	5/75	7/65
14	900	30	100	6/21	3/66	5/68	5/69	4/81	5/26	6/16
15	300	90	100	6/89	4/87	5/43	5/22	4/56	4/26	5/16
16	600	30	130	5/52	5/77	7/32	6/22	6/36	6/86	6/76
17	900	60	130	4/87	6/87	7/01	5/69	4/76	6/16	7/06
کنترل	-	-	200	6/10	6/25	7/90	6/33	5/50	0/66	5/50

جدول 7- ضرایب رگرسیون معادلات درجه دوم پاسخ‌های ویژگی‌های حسی

منبع	متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)						
	ظاهر پوسته	ظاهر مغز	رنگ‌پوسته	آروما	بافت	طعم و مزه	پذیرش کلی
β_0	6/54	4/79	5/98	5/78	6/63	5/97	6/83
β_1	-0/51**	0/31^{ns}	0/017^{ns}	0/16^{ns}	-0/040^{ns}	0/54^{ns}	0/62^{ns}
β_2	-0/14^{ns}	0/78*	0/12^{ns}	0/16^{ns}	-0/089^{ns}	0/015^{ns}	0/25^{ns}
β_3	-0/93***	1/21**	1/44****	0/88***	0/55**	0/73****	0/64****
$\beta_1 \beta_1$	0/15^{ns}	-0/44^{ns}	-0/27^{ns}	-0/23^{ns}	-1/58***	-0/82***	-0/81***
$\beta_2 \beta_2$	-0/071^{ns}	0/098^{ns}	-0/27^{ns}	-0/054^{ns}	-0/33^{ns}	-0/37*	-0/19^{ns}
$\beta_3 \beta_3$	-0/23^{ns}	0/62*	0/36*	-0/16^{ns}	-0/74**	-0/11^{ns}	-0/077^{ns}
$\beta_1 \beta_2$	0/072^{ns}	0/19^{ns}	-0/11^{ns}	0/040^{ns}	0/030^{ns}	0/025^{ns}	0/17^{ns}
$\beta_1 \beta_3$	-0/17^{ns}	0/19^{ns}	-0/29^{ns}	-0/50*	0/090^{ns}	-0/13^{ns}	-0/14^{ns}
$\beta_2 \beta_3$	-0/11^{ns}	0/12^{ns}	0/082^{ns}	0/070^{ns}	-0/093^{ns}	-0/61*	0/065^{ns}
Model (p-value)	0/0050	0/0041	0/0001	0/0057	0/0006	0/0003	0/0002
Lack of fit (p-value)	0/9861	0/2864	0/1665	0/5151	0/6305	0/7411	0/5142
R^2	0/9163	0/9213	0/9733	0/9130	0/9563	0/9652	0/9689
Adj-R^2	0/8086	0/8201	0/9389	0/8012	0/9002	0/9205	0/9289
CV (%)	5/48	10/03	4/53	5/93	6/18	4/60	3/40
Adeq Precision	10/570	10/734	16/840	11/167	11/809	16/785	18/006

^{ns}، *، **، *** و **** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح $p<0/05$، معنی‌داری در سطح $p<0/01$، معنی‌داری در سطح $p<0/001$ و معنی‌داری در سطح $p<0/0001$ می‌باشند.

همچنین اثرات خطی مثبت مدت‌زمان مایکروویو بر شاخص‌های حسی ظاهر مغز، رنگ مغز و پذیرش کلی معنی‌دار($p<0/05$) بود. نتایج نشان داد که اثرات خطی مثبت مدت‌زمان سرخ کردن بر شاخص‌های حسی ظاهر مغز، رنگ پوسته، رنگ مغز، آروما، بافت، طعم و مزه و پذیرش کلی معنی‌دار($p<0/05$) بود. همچنین اثرات منفی این متغیر بر شاخص‌های ظاهر پوسته معنی‌دار ($p<0/05$) بود (جدول 7). اغلب ارزیاب‌ها اظهار داشتند که نمونه‌ها دچار خشکی محسوسی بودند. سومنو و ساهین (2005)، از فرآورده‌های پخته‌شده توسط مایکروویو به عنوان فرآورده‌هایی خشک، نسبت به روش‌های رایج نام بردند. آن‌ها این خشکی را ناشی از افت رطوبت بالا در فرآورده‌های پخت شده توسط مایکروویو بیان کردند. همچنین قابل‌ذکر است گروه ارزیاب‌ها اظهار نمودند نمونه‌های دونات از شیرینی کافی برخوردار نبودند. پوشش‌دهی با مواد شیرین و پودر شکر، همان‌طور که در فرآورده‌های دونات انجام می‌گیرد، می‌توانست نمرات طعم و مزه را افزایش دهد.

آنالیز همبستگی

در ارزیابی آنالیز همبستگی، ضرایب منفی معرف رابطه معکوس، ضرایب مثبت معرف رابطه مستقیم و ضرایب حوالی صفر نمایانگر عدم وجود رابطه خطی بین متغیرها است. نتایج آنالیز همبستگی به‌خوبی نشان‌دهنده وجود ارتباط قوی بین شاخص‌های ظاهری با ویژگی‌های حسی دونات بود (جدول 8). وجود یک ارتباط قوی و البته منفی بین پذیرش ظاهر نمونه‌ها و تباین و انتروپی و همچنین وجود ارتباط قوی و مثبت بین این شاخص حسی و انرژی، همبستگی و همگنی نشان‌دهنده تمایل مصرف‌کننده به دونات‌هایی با سطح صاف‌تر بود. ارتباط مثبت قوی بین پذیرش ظاهر مغز با شاخص‌های ساختار مغز دانسیته و مساحت سلول‌های حاکی از تمایل بیشتر مصرف‌کنندگان به فرآورده‌ای با مغزی متخلخل‌تر بود. شاخص‌های رنگ پوسته ارتباط قوی با پذیرش رنگ پوسته نشان داد به شکلی که پارامتر L^* و b^* دارای ارتباطی منفی و پارامتر a^* دارای ارتباط مثبتی با پذیرش رنگ پوسته دونات داشت. این نتایج بیان‌کننده تمایل نصرف کننده به مصرف دونات‌های پیش‌فرآیند شده با مایکروویو با رنگ پوسته تیره و قرمزتر بود. بنابراین استفاده از مایکروویو در پخت فرآورده‌هایی از جمله دونات تأثیر منفی بر رنگ فرآورده و پذیرش مصرف‌کننده دارد. به‌طورکلی نتایج این آزمون نشان داد دونات‌هایی با سطح صاف‌تر، رنگ قرمزتر و مغزی متخلخل‌تر نزد مصرف‌کنندگان پذیرش بالاتری دارند. بنابراین با توجه به نتایج آنالیز همبستگی می‌توان تکنیک‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر را ابزاری مناسب

در پیش‌گویی و ارزیابی ویژگی‌های ظاهری دونات دانست. کاربرد تکنیک‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر در ارزیابی‌های ظاهری مواد غذایی به‌خوبی در پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده شده است (Brosnan & Sun, 2004). برای مثال، Fongaro و Kvaal (2013) با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر ویژگی‌های سطحی پاستاهای ایتالیایی را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران وجود همبستگی بین ویژگی‌های سطحی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های پاستا را گزارش کردند. همچنین در پژوهشی که توسط Girolami و همکاران (2014) انجام شد از یک سیستم بینایی کامپیوتری و آنالیز تصویر به همراه ارزیابی حسی به‌منظور ارزیابی ظاهر سوسیس استفاده شد.

جدول 8- ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های حسی و شاخص‌های ظاهری دونات

ویژگی‌های حسی	شاخص‌های بینایی									
	انرژی	تباین	همبستگی	همگنی	انتروپی	دانسیته سلول‌ها	مساحت سلول‌ها	L*	a*	b*
ظاهر پوسته	$0/80^{***}$	$-0/88^{****}$	$0/60^{*}$	$0/87^{****}$	$-0/86^{****}$	$-0/73^{***}$	$-0/75^{***}$	$-0/83^{****}$	$0/82^{****}$	$0/75^{***}$
ظاهر مغز	$-0/75^{***}$	$0/76^{***}$	$-0/39^{ns}$	$-0/75^{***}$	$0/70^{**}$	$0/73^{***}$	$0/77^{***}$	$-0/81^{****}$	$0/75^{***}$	$-0/75^{***}$
رنگ پوسته	$-0/51^{*}$	$0/74^{***}$	$-0/44^{ns}$	$-0/70^{**}$	$0/70^{**}$	$0/60^{*}$	$0/64^{**}$	$-0/74^{***}$	$0/86^{****}$	$-0/85^{****}$
آروما	$-0/45^{ns}$	$0/66^{**}$	$0/43^{ns}$	$-0/65^{**}$	$0/63^{**}$	$0/64^{**}$	$0/67^{**}$	$-0/59^{*}$	$0/62^{**}$	$-0/56^{*}$
بافت	$-0/04^{ns}$	$0/20^{ns}$	$-0/17^{ns}$	$-0/24^{ns}$	$0/14^{ns}$	$0/51^{*}$	$0/52^{*}$	$-0/07^{ns}$	$0/09^{*}$	$-0/16^{ns}$
طعم و مزه	$-0/53^{*}$	$0/68^{**}$	$-0/66^{**}$	$-0/69^{**}$	$0/61^{**}$	$0/76^{***}$	$0/70^{**}$	$-0/56^{*}$	$0/57^{*}$	$-0/38^{ns}$
پذیرش کلی	$-0/60^{*}$	$0/70^{**}$	$-0/65^{**}$	$-0/73^{***}$	$0/68^{**}$	$0/92^{****}$	$0/84^{****}$	$-0/55^{*}$	$0/50^{*}$	$-0/36^{ns}$

ns، *، **، *** و **** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معناداری، معنی‌داری در سطح $p<0/05$، معنی‌داری در سطح $p<0/01$، معنی‌داری در سطح $p<0/001$ و معنی‌داری در سطح $p<0/0001$ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از فناوری ماشین بینایی تأثیر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های ظاهری دونات بررسی شد. همچنین ارتباط بین ویژگی‌های ظاهری با خصوصیات حسی و پذیرش مصرف‌کننده مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد پیش‌فرآیند مایکروویو اثر قابل‌توجهی بر افت ویژگی‌های ظاهری و حسی دونات داشت. همچنین نتایج آنالیز همبستگی به‌خوبی نشان‌دهنده وجود ارتباط خطی قوی بین ویژگی‌های ظاهری و شاخص‌های حسی دونات پیش‌فرآیند شده با مایکروویو بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌فرآیند مایکروویو تاثیر قابل‌توجهی بر افت خصوصیات ظاهری دونات و متعاقب آن افت ویژگی‌های حسی فرآورده دارد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد تکنیک‌های ماشین بینایی می‌توانند کارایی بالایی در ارزیابی ظاهری فرآورده‌های غذایی داشته باشند.

منابع

نوری، م.، 1394، بررسی اثر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و روند بیاتی دوناتِ حاوی پودر تفاله هویج و صمغ فارسی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

Adedeji, A. A., Ngadi, M. O. & Raghavan, G. S. V., 2009, Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 91: 146–153.

Aguilera, J. M. & Stanley, D. W., 1999, Microstructural principles of food processing and Engineering. Pages 1-65 in Barbosa Canovas, G. V. (ed.) A Chapman and Hall food science book. Gaithersburg, MA, USA: Washington State University, Aspen Publishers, Inc.

Balestra, F., Cocci, E., Pinnavaia, G., & Romani, S., 2011, Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3): 700-705.

Brannan, R. G., Mah, E., Schott, M., Yuan, S., Casher, K. L., Myers, A., & Herrick, C., 2014, Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(3): 240-254.

Brosnan, T., & Sun, D-.W., 2004, Improving quality inspection of food products by computer vision a review. *Journal of Food Engineering, 61*(1): 3-16.

Chandraratne, M. R., Samarasinghe, S., Kulasiri, D., & Bickerstaffe, R., 2006, Prediction of lamb tenderness using image surface texture features. *Journal of Food Engineering,* 77(3): 492-499.

Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. & Basak, T., 2013. Microwave food processing-A review. *Food Research International*. 52: 243–261.

Chauhan, B., & Gupta, R., 2004, Application of statistical experimental design for optimization of alkaline protease production from Bacillus sp. RGR-14. *Process Biochemistry, 39*(12): 2115-2122.

Du, C.-J., & Sun, D.-W., 2004, Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in food science & technology,* 15(5): 230-249.

ElMasry, G., Cubero, S., Moltó, E., & Blasco, J., 2012, In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering,* 112(1): 60-68.

Fongaro, L., & Kvaal, K., 2013, Surface texture characterization of an Italian pasta by means of univariate and multivariate feature extraction from their texture images. *Food Research International*, *51*(2): 693-705.

Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., Di Bello, G., & Braghieri, A., 2014, Image analysis with the computer vision system and the consumer test in evaluating the appearance of Lucanian dry sausage, *Meat science*, *96*(1): 610-616.

Hager, A.-S., & Arendt, E. K., 2013, Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat, *Food Hydrocolloids*, 32(1): 195-203.

Hirte, A., Primo-Martín, C., Meinders, M. B., & Hamer, R. J., 2012, Does crumb morphology affect water migration and crispness retention in crispy breads?. *Journal of Cereal Science*, 56(2): 289-295.

Homayoonfal, M., Khodaiyan, F., & Mousavi, M., 2015, Modelling and optimising of physicochemical features of walnut-oil beverage emulsions by implementation of response surface methodology: Effect of preparation conditions on emulsion stability. *Food chemistry 174*: 649-659.

Icoz, D., Sumnu, G. & Sahin, S., 2004, Color and texture development during microwave and conventional baking of breads. *International Journal of Food Properties*, 7(2): 201–213.

Jackman, P., & Sun, D.-W., 2013, Recent advances in image processing using image texture features for food quality assessment. *Trends in food science & technology, 29*(1): 35-43.

Jackman, P., Sun, D.-W., & Allen, P., 2009, Prediction of beef palatability from colour, marbling and surface texture features of longissimus dorsi. Journal of Food Engineering, 96(1): 151-165.

Kent, D., & Amos, A., 1967, Modern cereal chemistry: Food Trade Press, London.

Manzocco, L., Calligaris, S., Da Pieve, S., Marzona, S., & Nicoli, M. C., 2012, Effect of monoglyceride-oil–water gels on white bread properties. *Food Research International*, 49(2): 778-782.

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.

Melito, H. S., & Farkas, B. E., 2012, Impact of Infrared Finishing on the Mechanical and Sensorial Properties of Wheat Donuts. *Journal of food science, 77*(9): 224-230.

Montgomery, D. C., 2013, Design and Analysis of Experiments (8 Ed.). New York: Wiley

Otsu, N., 1979, A threshold selection method from grey-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, *9*(1): 62–66.

Ozkoc, S. O., Sumnu, G., Sahin, S. & Turabi, E., 2009, Investigation of physicochemical properties of breads baked in microwave and infrared–microwave combination ovens during storage. *European Food Research and Technology*, 228: 883-893.

Oztop, M. O., Sahin, S. & Sumnu, G., 2007, Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. *Journal of Food Engineering*, 79: 83-91.

Purhagen, J. K., Sjöö, M. E., & Eliasson, A.-C., 2011, Starch affecting anti-staling agents and their function in freestanding and pan-baked bread. *Food Hydrocolloids, 25*(7): 1656-1666.

Quevedo, R., Díaz, O., Caqueo, A., Ronceros, B., & Aguilera, J., 2009, Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L^* color information from digital images. *LWT-Food Science and Technology, 42*(8): 1367-1373.

Samavati, V., Lorestani, M. & Joolazadeh, S., 2014, Identification and characterization of hydrocolloid from Cordia myxa leaf. *International journal of biological macromolecules*. 65: 215-221.

Sanchez-Pardo, M. E., Ortiz-Moreno, A., Mora-Escobedo, R., Chanona-Perez and Necoechea-Mondragon, H., 2008, Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *LWT-Food Science and* Technology, 41: 620-627.

Sánchez-Pardo, M., Ortiz-Moreno, A., García-Zaragoza, F., Necoechea-Mondragón, H., & Chanona-Pérez, J., 2012, Comparison of pound cake baked in a two cycle microwave-toaster oven and in conventional oven. *LWT-Food Science and Technology, 46*(1): 356-362.

Stone, H., Bleibaum, R., & Thomas, H. A., 2012, *Sensory evaluation practices*: Academic press.

Sumnu, G,. 2001, A review on microwave baking of foods. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(2): 117-127.

Sumnu, G. & Sahin, S. 2005. The microwave processing of foods (Chapter 7). Pages 119-141 in Schubert, H. and Regier, M. (eds.) Baking using microwave processing. Cambridge, England: CRC Press.

Turabi, E., Sumnu, G. & Sahin, S. 2008. Optimization of baking of rice cakes in infraredemicrowave combination oven by response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*. 1: 64-73.

Turabi, E., Sumnu, G. & Sahin, S. 2010. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*. 24: 755-762.

Ziobro, R., Witczak, T., Juszczak, L., & Korus, J, 2013, Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. *Food Hydrocolloids*, *32*(2): 213-220.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 867-879

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 879-867

Application of machine vision technology for visual assessment of microwave pre-treated donut

M. Nouri[1], B. Nasehi[2*], V. Samavati[3], S.Abdanan Mehdizade[4]

Received: 2016.04.29
Accepted: 2016.07.09

Introduction: Fried foods such as donuts enjoyed worldwide for their taste, distinctive flavor, aroma and crunchy texture. There is, however, grave health concern over large fat content of fried foods (Melito and Farkas, 2013). There are several ways to lower fat content in deep-fried foods. One method is to reformulate the product by adding hydrophilic ingredients such as dietary fibers to reduce oil uptake during frying. Another method to reduce fat content is to partially cook the food using another heating method (Melito and Farkas, 2012). There is an increasing interest in microwaving foods for several reasons: it is faster than conventional methods, the energy consumption is often lower and foods cooked by microwaving maintain nutritional integrity.vIn foods, the appearance is a main criterion in making purchasing decisions. Appearance is used throughout the production –storage-marketing-utilization chain as the key means of judging the quality of individual units of product. The appearance of unities of products could be assessed by considering their color and surface texture. The use of computer-vision technology has quickly increased in the fields of quality inspection, classification and evaluation in processing a large number of food products (Brosnan and Sun, 2004). Therefore the aim of this study was to study the effects of microwave pre-treatment on sensory and appearance properties of donut.

Materials and methods: Response surface methodology and Box- Behnken design were applied to evaluate the effects of independent variable include microwave power (300-900 W), microwave time (30-90 s) and frying time (70-130 s) on sensory and appearance properties of donuts. Donuts were prepared according to the formulation by Melito and Farkas (2012) with some modifications. Ingredients used in donuts formulation were consisted of 100 g of wheat flour (9 g/100g), 52 g of water, 9.75 g of Shortening, 14 g of Egg, 14 g of water for yeast, 6.80 g of sugar, 6.80 g of nonfat dried milk powder, 3.25 g of active dried yeast, 1.70 g of Vanilla extract, 1.7 g of baking powder, 1.70 g of Salt, 1.3 g of Persian gum and 7.00 g of carrot pomace powder. The dough was cut into squares approximately 50 mm on each side. Then, the dough pieces were allowed to proof for 30 min at 27 ºC. The proofed samples were pre-treated using a microwave oven at different levels of microwave power and microwave time in accordance with the experimental design. Formerly, the per-treated donuts were deep-fat fried in a Moulinex deep-fat fryer (model F18-RA, France) filled with 1.5 L of vegetable frying oil (A mixture of Sunflower, palm, and soybean oil; Behshahr CO., Tehran, Iran) at different levels of frying time in accordance with the experimental design. The oil was preheated for 30 min prior to frying and replaced with fresh oil after every frying process. After frying, donuts were removed from the fryer and allowed to cool for 30 min on paper towels. They were then stored in coded sealed polyethylene bags.The evaluation of the crumb grain and crust color of donuts was performed using an image analysis system consisted of a Canon digital camera (model SX60 HS, Japan) and a personal computer with a Pentium(R) Dual-Core processor and Windows 7 Ultimate. The samples were photographed at a fixed distance of 30 cm from the crumb of samples, which were sitting inside a black box. The captured images were analyzed using the MATLAB R2014a software (The MathWorks Inc., Natick, Mass, USA).The CIE L*a*b* (or CIELAB) color model was used for determination of the crust color of donuts. Crumb grain features of the donut samples were obtained with described digital image analysis system. After imaging, each image was converted from RGB format to 8 bits (grey level) using the MATLAB software. In this format, an area of 3 × 3 cm^2 was selected at the center of the captured image. After contrast enhancement of image, the image segmented using the Otsu algorithm, which produces highly uniform binary images (Otsu, 1979). Finally, crumb grain properties of donuts were studied by determination of cells densities and area of cells. Sensory evaluation of donut samples was carried out by assigning scores for crust appearance, crumb appearance, crust color, aroma, texture, taste and overall acceptance parameters based on a nine-point hedonic

1, 2 3. Former MSc student, Associated Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran.
(*Corresponding author Email: b_nasehi@yahoo.com)

scale. (Stone *et al.*, 2012).

Results and discussion: Results showed that roughness of the donuts surface increased significantly ($p<0.05$) with increasing microwave power, microwave time and frying time levels. The significant positive linear effect ($p<0.05$) of independent variables and a significant negative quadratic effect of microwave power ($p<0.05$) were observed on crumb grain properties of donut (Table 5). With regard to samples color, L* considerably decreased and a* considerably ($p<0.05$) increased as levels of frying time was increased (Table 5). Results of sensory evaluation, illustrated that frying time significantly ($p<0.05$) increased consumer acceptance scores (Table 7). Furthermore, results of correlation analysis revealed that there were strong linear relationships between appearance properties of donuts and sensory attributes (Table 8).

Keywords: Appearance properties, Donut, Machine vision, Microwave pre-treatment

Contents

Optimization of tomato paste powder efficiency production by spray dryer and evaluation of its quality characteristics 647
A. dezyani, A. Mohammad Ziyaeifar , S. M. Jafari , M. Ghorbani , A. R. Sadeghi Mahoonak

Use of dough mechanical properties in the prediction rheology of dough, quality, sensory, shelf life and microstructure of bread: investigation by asymmetric and symmetric multivariate methods 663
A. Pourfarzad, M. Karimi, Z. Ahmadian-Kouchaksaraei, S. Hejri-Zarifi, S. Gheibi

Evaluating the influence of number of layers and concentration of carboxy-methyl cellulose and carrageenan coating on osmotic dehydration performance of *Golden delicious* apple 680
E. Sadati Gol-afshani, S. M. Jafari, Sh. Beyraghi Toosib, M. Kashani- Nejada, M. Ganjeha

Reducing sugars effective diffusivity and kinetic of texture changes during blanching of potato strips in hot water 691
H. Beyki, N. Hamdami, J. Pourtaghi

Mass transfer kinetics and mathematical modeling of the osmotic dehydration of carrot cubes in glucose syrup and salt solutions 704
M. Kargozari, M. Jamshid-Eini

Effect of Cellophane and Chitosan Coatings on Qualitative and Biochemical Characteristics of Sweet Pepper, Cultivar "California wonder" during Storage 720
M. Mohammadi, M. Saidi , O.Khademi

Predict changes of some quality parameters of black mulberry juice (*Morusnigra* L.) during ripening using machine vision and fractal analysis 730
M. Soltani kazemi, S. Abdanan Mehdizadeh, M. Heydari, S. M. Faregh

Optimization of milk proteins–soluble fraction of Iranian native gums conjugate formation via the Maillard reaction 744
F. Azarikia, Soleiman Abbasi

Changes of bioactive compounds and physico-chemical properties of cornelian cherry fruit during storage at ambient temperature (˚C) 759
R. Pashaei Bahram, S. Azadmard Damirchi, J. Hesari, S. Hadi Peighambardoust, S. Bodbodak, B. Farmani

Investigation the effect of polyglycerol ester and diacetiyltartaric acid ester in the form of gel on physicochemical, rheological and sensory properties of oily cake 771
M. Ghanadrezaee, A. Arianfar, Z. Sheikholeslami

Evaluation of antibacterial activity of chitosan bioactive film containing *Eucalyptus globulus* essentoil oil 784
E. Azadbakht, Y. Maghsoudlou, M. khomeiri, M. Kashiri

Effect of accelerated aging on physicochemical properties of rice cultivar Tarom 798
A. Latifi, M. Esmaiili

Substituting sugar with date syrup in cupcake 808
A. Ayoubi, M. Porabolghasem

Investigation of Psychochemical and Functional Properties of Pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) Juice Concentrate during Storage Period at Different Temperatures 820
M. Farahmand, M. T. Golmakani, A. Farahnaky , Gh. R. Mesbahi

Optimization and investigation on physicochemical, sensory and microbial quality of permeate-based probiotic lemon beverage 830
R. A. Khamirian,, H. Jooyandeh, J. Hesari, H. Barzegar

Developing probiotic bread using *Lactobacillus reuteri* part : Evaluation of fluidized bed microencapsulation on viability of *Lactobacillus reuteri* in simulated gastrointestinal conditions 844
L. Zaghari, A. R. Bassiri, S. Rahimi, A. Zonusi

Determination of rheological properties of tomato under quasi static loading conditions 858
M. Ghorbannejad, A. Golmohammadi, D. Kalanatri

Application of machine vision technology for visual assessment of microwave pre-treated donut 867
M. Nouri, B. Nasehi, V. Samavati, S.Abdanan Mehdizade

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 13 No. 5 2017

Published by: Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Executive Manager: Shahnoushi, N.

Editor-in-Chief: Razavi, Seyed M. A.

Executive Director: Taghizadeh, M.

Editorial Board:

Ehsani, M.R.	Prof. in Dairy Technology
Farahnaki, A.	Assoc. Prof. in Food Engineering
Farhoosh, R.	Prof. in Food Chemistry
Fazli Bazzaz, S.	Prof. in Microbiology
Habibi najafi, M.	Prof. in Microbiology
Kadivar, M.	Assoc. Prof. in Food Chemistry
Kashaninejad, M.	Assoc. Prof. in Food Engineering
Khomeiri, M.	Assoc. Prof. in Microbiology
Khosroshahi, A.	Prof. in Dairy Technology
Mortazavi, Seyed A.	Prof. in Microbiology and Biotechnology
Pourazerang, H.	Prof. in Food Chemistry
Razavi, Seyed M. A.	Prof. in Food Engineering
Sahari, M. A	Prof. in Food Chemistry
Sedaghat, N.	Assoc. Prof. in Food Packaging
Shahidi, F.	Prof. in Microbiology
Varidi, M.J.	Assoc. Prof. in Food technology

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran.

Address: The Iranian Food Science & Technology Research Journal, Scientific Publication Office, Food Science and Technology Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

P.O.BOX: 91775- 1163

Phone: (98)511-8795618-20(321)

Fax: (98)511-8787430

E-Mail: ifstrj@um.ac.ir

Web Site: http://jm.um.ac.ir/index.php/food_tech/index

This journal is indexed in ISC, SID, and MAGIRAN.

Ferdowsi University of Mashhad

Vol.13 No.5

2017

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Iranian food science and technology Association

ISSN:1735-4161

Contents

Optimization of tomato paste powder efficiency production by spray dryer and evaluation of its quality characteristics 646
A. dezyani, A. Mohammad Ziyaeifar , S. M. Jafari , M. Ghorbani , A. R. Sadeghi Mahoonak

Use of dough mechanical properties in the prediction rheology of dough, quality, sensory, shelf life and microstructure of bread: investigation by asymmetric and symmetric multivariate methods 662
A. Pourfarzad, M. Karimi, Z. Ahmadian-Kouchaksaraei, S. Hejri-Zarifi, S. Gheibi

Evaluating the influence of number of layers and concentration of carboxy-methyl cellulose and carrageenan coating on osmotic dehydration performance of *Golden delicious* apple 679
E. Sadati Gol-afshani, S. M. Jafari, Sh. Beyraghi Toosib, M. Kashani- Nejada, M. Ganjeha

Reducing sugars effective diffusivity and kinetic of texture changes during blanching of potato strips in hot water 690
H. Beyki, N. Hamdami, J. Pourtaghi

Mass transfer kinetics and mathematical modeling of the osmotic dehydration of carrot cubes in glucose syrup and salt solutions 703
M. Kargozari, M. Jamshid-Eini

Effect of Cellophane and Chitosan Coatings on Qualitative and Biochemical Characteristics of Sweet Pepper, Cultivar "California wonder" during Storage 719
M. Mohammadi, M. Saidi , O.Khademi

Predict changes of some quality parameters of black mulberry juice (*Morusnigra* L.) during ripening using machine vision and fractal analysis 729
M. Soltani kazemi, S. Abdanan Mehdizadeh, M. Heydari, S. M. Faregh

Optimization of milk proteins-soluble fraction of Iranian native gums conjugate formation via The Maillard reaction 743
F. Azarikia, Soleiman Abbasi

Changes of bioactive compounds and physico-chemical properties of cornelian cherry fruit during storage at ambient temperature (°C) 758
R. Pashaei Bahram, S. Azadmard Damirchi, J. Hesari, S. Hadi Peighambardoust, S. Bodbodak, B. Farmani

Investigation the effect of polyglycerol ester and diacetiyltartaric acid ester in the form of gel on physicochemical, rheological and sensory properties of oily cake 770
M. Ghanadrezaee, A. Arianfar, Z. Sheikholeslami

Evaluation of antibacterial activity of chitosan bioactive film containing *Eucalyptus globulus* essentoil oil 783
E. Azadbakht, Y. Maghsoudlou, M. khomeiri, M. Kashiri

Effect of accelerated aging on physicochemical properties of rice cultivar Tarom 797
A. Latifi, M. Esmaiili

Continue Content in cover

نشریه علمی - پژوهشی پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران جلد ۱۳ شماره ۵ سال ۱۳۹۶ 2017

Iranian Food Science and Technology Research Journal Vol.13 No.5