نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۲، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۳۹۵ ص.۱۵۱-۱۳۹

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 12, No. 1, Apr. May. 2016, p. 139- 151

بررسی فرآیند اسمزی موز با استفاده از لاکتات کلسیم و بهینه‌سازی آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

زینب فرحانی نژاد[۱]، میلاد فتحی[۲*]، محمّد شاهدی[۳]

تاریخ دریافت۱۳۹۳/۰۳/۲۷
تاریخ پذیرش۱۳۹۳/۰۷/۱۶

چکیده

موز میوه‌ای سرشار از مواد مغذی است که به علت داشتن محتوای رطوبتی بالا استفاده از روش‌های نگهداری مناسب بمنظور افزایش زمان ماندگاری آن ضروری است. آبگیری اسمزی یک فرآیند غیرحرارتی برای کاهش رطوبت و بهبود ویژگی‌های خوراکی محسوب می‌شود. با این وجود، این فرآیند کند بوده و همچنین بافت میوه طی فرآیند دچار تغییرات نامطلوبی می‌گردد. در این پژوهش از لاکتات کلسیم (در غلظت‌های ۰٪، ۲٪، ۳٪ و ۴٪) و اسید سیتریک (در غلظت‌های ۰٪، ۰/۵٪، ۱٪ و ۱/۵٪) برای بهبود استحکام بافت میوه و افزایش سرعت فرآیند طی آبگیری با محلول اسمزی ساکارز استفاده گردید و الگوریتم ژنتیک بمنظور بهینه‌سازی شرایط فرآیند بکار گرفته شد. نتایج نشان داد استفاده از لاکتات کلسیم و اسید سیتریک سبب کاهش میزان جذب مواد جامد و تغییرات رنگ، افزایش افت رطوبت و همچنین بهبود مقاومت مکانیکی بافت میوه می‌گردد. شرایط بهینه فرآیند نیز برای حصول بیشترین مقدار افت رطوبت و مقاومت مکانیکی و کمترین مقدار جذب مواد جامد و تغییرات رنگ در نظرگرفته شد (غلظت‌های پیش‌بینی شده به ترتیب ۳/۹۹٪ و ۰/۸۶٪ برای لاکتات کلسیم و اسید سیتریک بود). شرایط بهینه با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی اعتبارسنجی گردید. مقادیر شاخص-های آماری MSE، NMSE و AME (به ترتیب برابر با ۲/۰۶۲، ۰/۰۲۱ و ۱/۰۹۹) بیانگر توانایی بالای الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی فرآیند آبگیری اسمزی بود.

واژه‌های کلیدی: آبگیری اسمزی، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی، قهوه‌ای شدن آنزیمی، لاکتات کلسیم

مقدمه

میوه موز یکی از پرمصرف‌ترین میوه‌های جهان است و پس از برنج، گندم و ذرت چهارمین رتبه را در بین تولیدات کشاورزی به خود اختصاص می‌دهد (Hailu, Workneh *et al*. 2013). مقدار تولید موز در سال ۲۰۱۱ در جهان ۱۰۶ میلیون تن و در ایران ۱۲۴ هزار تن گزارش شده است (FAOSTAT, 2011). از دیدگاه بیولوژیکی محتوای رطوبتی بالا، موز را در ردیف میوه‌های بسیار حساس به انواع فساد میکروبی، شیمیایی و فیزیکی قرار می‌دهد. مشکل ذکر شده بهمراه عدم قابلیت انجماد موز، ضایعات پس از برداشت را در مناطق تولید کننده افزایش می‌دهد. بنابراین یک روش فرآوری مناسب می‌تواند بخش مازاد بر مصرف را از چرخه ضایعات خارج سازد (Fernandes and Rodrigues 2008).

آبگیری اسمزی یک پیش‌تیمار غیرحرارتی است که امروزه بصورت گسترده برای خارج نمودن بخشی از رطوبت بافت‌های گیاهی یا جانوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. طی این تیمار نمونه درون یک محلول آبی هایپرتونیک از یک حلال خوراکی نظیر شکر یا نمک برای مدت مشخص غوطه‌ور می‌شود. نیروی محرکه اصلی برای خروج رطوبت، فشار اسمزی بالایی است که در نتیجه اختلاف غلظت میان محلول اسمزی و مایع درون سلولی ایجاد می‌شود. در مقابل این جریان، ماده حل شونده از محلول به سمت محصول حرکت می‌کند. از مزایای این پیش‌تیمار عدم وارد نمودن صدمات حرارتی به محصول، خروج رطوبت بدون رخداد تغییر فاز و کاهش قهوه‌ای شدن آنزیمی به علت محدود شدن تماس اکسیژن با میوه است (Silva, Fernandes *et al*. 2014b). آبگیری اسمزی بصورت گسترده به عنوان پیش‌تیمار قبل از فرآیند خشک‌کردن کیوی، موز، آناناس، ساپوتا، پاپایا، هندوانه، توت‌فرنگی، گوجه‌فرنگی و فلفل (Fernandes, Rodrigues *et al*. 2006, Pereira, Ferrari *et al*. 2006, Ali, Moharram *et al*. 2010, Fathi, Mohebbi *et al*. 2011, Fernandes and Rodrigues 2011, Garcia-Noguera,

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(* - نویسنده مسئول: Email: mfathi@cc.iut.ac.ir)

Oliveira *et al*. 2012, Zhao, Zhao *et al*. 2013) مورد استفاده قرار گرفته است. با وجود این مزایا مقدار آبگیری از محصول محدود است و بمنظور رسیدن به سطح مطلوب رطوبت زمان‌های غوطه‌وری طولانی مورد نیاز است. در این صورت اثرات نامطلوبی بر بافت محصول ایجاد خواهد شد (Verma, Kaushik *et al*. 2013). تغییر رنگ سریع موز بلافاصله پس از آماده‌سازی به علت وجود مقادیر بالایی از آنزیم‌های پلی‌فنل‌اکسیداز و پراکسیداز (عامل قهوه‌ای شدن آنزیمی) است که می‌توان آن را با افزودن اسید سیتریک و اسید آسکوربیک کنترل نمود (Jaworska, Kmiecik *et al*. 2004). چالش بعدی بخصوص در مورد موز رسیده پایداری بافت طی فرآوری می‌باشد. در این مورد افزودن نمک‌های کلسیم نظیر کلریدکلسیم و لاکتات‌کلسیم می‌تواند مفید واقع شود. از طرفی محتوای اندک کلسیم در میوه موز (حدود ۱میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) نیز جبران می‌شود (Jaworska, Kmiecik *et al*. 2004). استفاده از کلسیم به منظور غنی‌سازی (Barrera, Betoret *et al*. 2004, Silva, Fernandes *et al*. 2014b) و حفظ بافت فلفل، سیب زمینی، سیب درختی و موز، گریپ فروت، میوه‌های استوایی (Jaworska, Kmiecik *et al*. 2004, Anino, Salvatori *et al*. 2006, Pereira, Ferrari *et al*. 2006, Vega-Galvez, Lemus-Mondaca *et al*. 2008, Bico, Raposo *et al*. 2009, Moraga, Moraga *et al*. 2009, Wang, Zhang *et al*. 2010, Mavroudis, Gidley *et al*. 2012) گزارش شده است. این اثر مثبت در نتیجه برقراری پیوند میان یون‌های کلسیم با مولکول‌های پکتین و ضخیم شدن دیواره سلولی حاصل می‌شود. استفاده از اسید آسکوربیک همزمان با بکارگیری از نمک‌های کلسیم دارای اثرات هم‌افزایی بوده ضمن اینکه سبب بهبود رنگ محصول نیز می‌گردد. با این وجود تاکنون بهبود همزمان بافت و رنگ موز با توجه به اثرات متقابل پارامترهای فرآیند تاکنون مطالعه نشده است.

الگوریتم ژنتیک یک روش هوشمند در تعیین شرایط بهینه فرآیند است که برای این منظور از قوانین گزینشی طبیعت و تئوری تکاملی داروین استفاده می‌کند. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی رایج، حساسیت و امکان بهینه‌سازی زمانیکه فضای جستجو بسیار بزرگ است، می‌باشد. از تکنیک الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی ورقه‌های موز در شرایط مختلف دمای هوای خشک‌کن (Mohebbi *et al*., 2011) و پارامتر چروکیدگی طی آبگیری اسمزی ورقه‌های کیوی استفاده شده است (Fathi *et al*., 2011). در این حالت از الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی پارامترهای ورودی شبکه عصبی بهره گرفته شد.

در این پژوهش از لاکتات‌کلسیم بمنظور بهبود سفتی بافت و اسید سیتریک و اسید آسکوربیک برای کاهش واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی طی آبگیری اسمزی ورقه‌های موز استفاده می‌شود. به علاوه اثر فرآیند بر سفتی بافت، رنگ، جذب مواد جامد و افت رطوبت مطالعه و شرایط فرآیند با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک بهینه می‌شود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

میوه موز با درجه رسیدگی متوسط از بازار محلی خریداری شد و پس از جداسازی پوست، برش‌هایی با ضخامت ۹ میلی‌متر از آن تهیه گردید. رطوبت اولیه موز با توجه به روش استاندارد (۱۹۹۷) ۹۳۴/۰۶ AAOC (۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس) و با استفاده از آون تحت خلاء (OSK co., vs-4, Japan) تعیین شد. برای اندازه-گیری وزن برش‌ها از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ g (Shimadzu, AEU-210, JAPAN) استفاده شد. محلول اسمزی جهت تیمارهای مختلف با استفاده از شکر خوراکی تصفیه شده، اسید آسکوربیک، اسید سیتریک، لاکتات‌کلسیم خوارکی هیدراته با ۵ مولکول آب (Merck,Germany) تهیه شد.

پیش‌تیمار اسمزی

برش‌های موز پس از ثبت وزن اولیه در محلول اسمزی با غلظت ثابت ۴۰٪ ساکارز و ۰/۲۵٪ اسیدآسکوربیک، غلظت‌های متغیر لاکتات‌کلسیم (۰٪، ۲٪، ۳٪ و ۴٪) و اسیدسیتریک (۰٪، ۰/۵٪، ۱٪ و ۱/۵٪) به مدت ۳ ساعت و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرارگرفتند (جدول ۱). سپس نمونه‌ها از محلول اسمزی خارج شده، رطوبت سطحی آنها با کاغذ جاذب‌الرطوبه گرفته شد و وزن آنها ثبت گردید. به منظور اندازه‌گیری افت رطوبت و جذب مواد جامد، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون تحت خلاء قرار گرفتند. درصد رطوبت، مقدار افت رطوبت و جذب ماده جامد با استفاده از روابط (۱) تا (۳) محاسبه گردید (Fathi, Mohebbi et al. 2011).

$$M\ \% = \frac{W - Wf}{W} \times 100 \qquad (۱)$$

$$SG\ \% = \frac{(WS_t - WS_0)}{(WS_0 + WW_0)} \times 100 \qquad (۲)$$

$$WL\ \% = \frac{(WW_0) - (W_t - WS_t)}{(WS_0 + WW_0)} \times 100 \qquad (۳)$$

WW_0 وزن آب اولیه موجود در میوه و WS_0 وزن ماده خشک اولیه، W_t وزن برش‌های موز پس از تیمار و WS_t وزن ماده خشک آنها پس از تیمار است.

رنگ

تصویر نمونه‌ها با استفاده از یک اسکنر (HP scanjet G4050) با وضوح ۶۰۰ ppi و بدون فشردگی در فرمت JPEG گرفته شد. تصاویرگرفته شده که در فضای رنگی RGB ذخیره شده بودند، با

استفاده از نرم افزار Imagej نسخه ۱.۴.۳.۶۷ به فضای رنگی LAB تبدیل شد.

pH محلول اسمزی با استفاده از دستگاه pH متر (corning-EEL, USA) اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده مطابق با جدول (۲) می‌باشد:

جدول ۱- شماره‌گذاری تیمارها

غلظت اسید سیتریک	غلظت لاکتات‌کلسیم			
	٪۰	٪۲	٪۳	٪٤
٪۰	۱	۲	۳	۴
٪۰/۵	۵	۸	۹	۱۰
٪۱	۶	۱۱	۱۲	۱۳
٪۱/۵	۷	۱۴	۱۵	۱۶

جدول ۲- pH محلول اسمزی در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک و لاکتات-کلسیم

غلظت اسید سیتریک	غلظت لاکتات‌کلسیم			
	٪۰	٪۲	٪۳	٪٤
٪۰	۷/۴۵	۷/۷۳	۷/۸۹	۷/۹۸
٪۰/۵	۳/۵۶	۳/۸	۴/۲۲	۴/۶۹
٪۱	۲/۲۳	۳/۵	۳/۶۴	۳/۶۵
٪۱/۵	۲/۲	۳/۳۱	۳/۴۷	۳/۴۹

سپس سه پارامتر L*، a* و b* از تصاویر مذکور استخراج شد. مؤلفه L^* بیانگر روشنایی تصویر با دامنه مقادیر ۰ (تاریکی) تا ۱۰۰ (روشنایی) می باشد. دامنه مؤلفه a* بین ۱۲۰- (رنگ سبز) تا ۱۲۰ (رنگ قرمز) متغیر است، مؤلفه b* نیز بیانگر رنگ زرد برای مقدار ۱۲۰ و رنگ آبی برای مقدار ۱۲۰- است. علاوه بر این سه پارامتر تغییرات کلی رنگ برش‌های موز طی تیمار اسمزی با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Fathi *et al*., 2011).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*) + (a^* - a_0^*) + (b^* - b_0^*)} \qquad (۴)$$

بافت

سنجش سفتی بافت نمونه‌ها با استفاده از آزمون نفوذ و دستگاه سنجش بافت (INSTRON,1140, Singapore) متصل به سیستم پردازش داده استفاده شد. برش‌های موز بصورت استوانه‌هایی با ضخامت ۷ میلی‌متر و قطر ۲/۵ ± ۲۷/۵ میلی‌متر در حد فاصل مرکز و لبه نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمون از پروب با قطر ۵ میلیمتر از جنس استیل ضد زنگ و سل ۵-۰/۵ کیلوگرمی با سرعت ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. بیشترین نیروی نفوذ برحسب نیوتن به عنوان سنجش سفتی بافت نمونه‌ها گزارش شد (Chauhan, *et al*. 2006).

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی فرآیند بر اساس تئوری تکامل داروین می‌باشد. در این روش متغیرهای فرآیند در قالب کدهایی مشابه با کروموزوم‌ها رمزگذاری می‌شوند (وطنی اسکویی و سریع الاطلاق فرد، ۱۳۸۸). این روش توانایی بالایی در یافتن نقاط بهینه واقعی بدون افتادن در مینیمم‌ها محلی را دارد در این روش بر اساس تابع برازندگی بهترین کاندیداها انتخاب و در نسل بعدی باقی خواهند ماند. الگوریتم ژنتیک متشکل از ۳ فرآیند اصلی انتخاب، تبادل کروزم و جهش می‌باشد. انتخاب کرومزم برای نسل بعدی توسط تابع برازندگی صورت می‌گیرد. در مرحله بعد تبادل کرومزمی بین کادیداهای برگزیده صورت می‌گیرد. طی مرحله جهش محتوای کرومزمی بر اساس احتمال جهش تغییر می‌کند. این فرایند تا زمان همگرایی تابع و بسته به تعداد نسل‌ها ادامه می‌یابد (Mohebbi, *et al*. 2011). در این تحقیق از تابع برازندگی زیر با مقدار احتمال جهش ۰/۰۰۱، نرخ تلقیح ۸۰٪ جمعیت اولیه حاوی ۶۰ کروموزم و تعداد نسل ۶۰ استفاده گردید:

$$f(x) = 5 - (-(SG) + (WL) + ((H)) - (\Delta E)) \qquad (۵)$$

که در اینجا SG، WL، H و ΔE به ترتیب مقدار نرمال شده جذب ماده جامد، افت رطوبت، میزان سفتی و تغییرات کلی رنگ می‌باشد.

وابستگی پارامترهای کیفی با متغیرهای فرآیند با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به دست آمد و در تابع برازندگی استفاده شد. عدد ۵ اضافه شده در تابع برازندگی، برای جلوگیری از منفی شدن این تابع استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT نسخه 1.41 انجام شد. از آزمون حداقل معنی‌داری (LSD) برای مقایسه تیمارها با تیمار شاهد و آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه کلیه تیمارها با یکدیگر استفاده شد. تحلیل نتایج بدست آمده از تیمارهای ۷-۱ که محلول اسمزی تنها حاوی لاکتات کلسیم و یا اسید سیتریک بود، با استفاده از طرح کاملا تصادفی و آزمون‌های LSD و آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. تیمارهای ۱۶-۸ که در محلول اسمزی هردو فاکتور حضور داشتند، از طرح کاملا تصادفی در قالب آرایش فاکتوریل و آزمون‌های LSD و آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. کلیه آزمایش‌ها در دو تکرار صورت گرفت و نمودارها در محیط نرم افزار SigmaPlot نسخه 11.0 رسم گردید.

نتایج و بحث

تأثیر لاکتات‌کلسیم و اسیدسیتریک بر مقدار افت رطوبت و جذب مواد جامد

در پژوهش حاضر پارامترهای افت رطوبت و جذب ماده جامد با استفاده از روابط (۲) و (۳) محاسبه شد که نتایج حاصل در شکل‌های (۱) و (۲) آورده شده است. برای بررسی اثر لاکتات کلسیم بر جذب ماده جامد، نتایج حاصل از تیمارهای (۲، ۳ و۴) با تیمار (۱) (تیمار شاهد) مقایسه شد. تیمارهای ۲٪ و ۳٪ لاکتات کلسیم جذب ماده جامد کمتری نسبت به تیمار شاهد داشتند اما تیمار ۴٪ لاکتات کلسیم تفاوت معناداری با تیمار شاهد نداشت. همچنین در مقایسه بین تیمارها با یکدیگر زمانی که غلظت لاکتات کلسیم از ۲٪ به ۴٪ افزایش یافت، افزایش معناداری در میزان جذب ماده جامد مشاهده شد. Anino و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه خود بر روی امکان غنی-سازی برش‌های سیب با استفاده از محلول گلوکز و نمک‌های کلسیم (لاکتات و گلوکونات کلسیم) تحت فشار اتمسفری و خلاء، علت کمتر بودن جذب ماده جامد را تشکیل ترکیب پکتات‌کلسیم در دیواره سلولی توصیف نمودند که همانند یک سد از عبور پلیمرهایی چون ساکارز جلوگیری می‌نماید. نتایج مشابهی نیز توسط Pereira و همکاران (۲۰۰۶) طی آبگیری اسمزی میوه‌های استوایی با استفاده از محلول اسمزی ساکارز و مالتوز و لاکتات کلسیم بدست آمد.

Mavroudis و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه بر روی تیمار اسمزی سیب درختی با استفاده از محلول ساکارز و کلرید کلسیم اظهار داشتند که کاهش جذب مواد جامد به علت کاهش تخلخل دیواره سلولی است. اثر اسید سیتریک بر جذب ماده جامد نیز با مقایسه نتایج تیمارهای (۵، ۶ و ۷) با تیمار شاهد بررسی شد. در این تیمارها جذب ماده جامد کمتر از تیمار شاهد بود. زیرا در این صورت رقابت میان اسید سیتریک و ساکارز برای عبور به درون سلول صورت می‌گیرد و در این میان ماده با وزن مولکولی کمتر به مقدار بیشتری وارد بافت میوه می‌گردد (Silva *et al*., 2014b). همچنین مقایسه بین تیمارها با یکدیگر نشان داد افزایش غلظت اسید سیتریک از ۰/۵٪ به ۱/۵٪ منجر به افزایش معنادار در جذب ماده جامد می‌شود.

بررسی بعدی روی تیمارهایی انجام گرفت که در محلول اسمزی هردو فاکتور بطور همزمان حضور داشتند (تیمارهای ۱۶-۸) و رفتارهای این دو ماده بر جذب ماده جامد در تقابل با یکدیگر ارزیابی شد. اثر لاکتات کلسیم بر جذب ماده جامد در حضور اسید سیتریک و در غلظت ثابت آن نشان داد که افزایش غلظت لاکتات کلسیم (از ۲٪ به ۴٪)، جذب ماده جامد را بطور معنادار افزایش می‌دهد. در مورد اسید سیتریک نیز در غلظت‌های ثابت لاکتات کلسیم این روند بررسی شد. نتایج نشان داد که در غلظت‌های ۲٪ و ۴٪ لاکتات کلسیم افزایش سه برابری اسید سیتریک (از ۰/۵٪ به ۱/۵٪) مورد نیاز بود تا منجر به افزایش معنادار در جذب ماده جامد شود. اما در غلظت ۳٪ لاکتات کلسیم افزایش در جذب ماده جامد مشاهد نشد. در این تیمارها اثر لاکتات کلسیم و اثر اسید سیتریک معنادار اما اثر متقابل آنها معنادار نبود. به عبارتی اثر هم افزایی در مورد کاربرد همزمان این دو فاکتور مشاهده نشد. در مقایسه این تیمارها با تیمار شاهد، تیمارهای (۸ و ۱۱) بطور معناداری دارای جذب ماده جامد کمتر نسبت به تیمار شاهد بودند. تیمارهای (۹، ۱۲، ۱۴ و ۱۵)، تفاوت معناداری را با تیمار شاهد نشان ندادند، اما تیمار (۱۰، ۱۳ و ۱۶) دارای جذب ماده جامد بیشتری بودند.

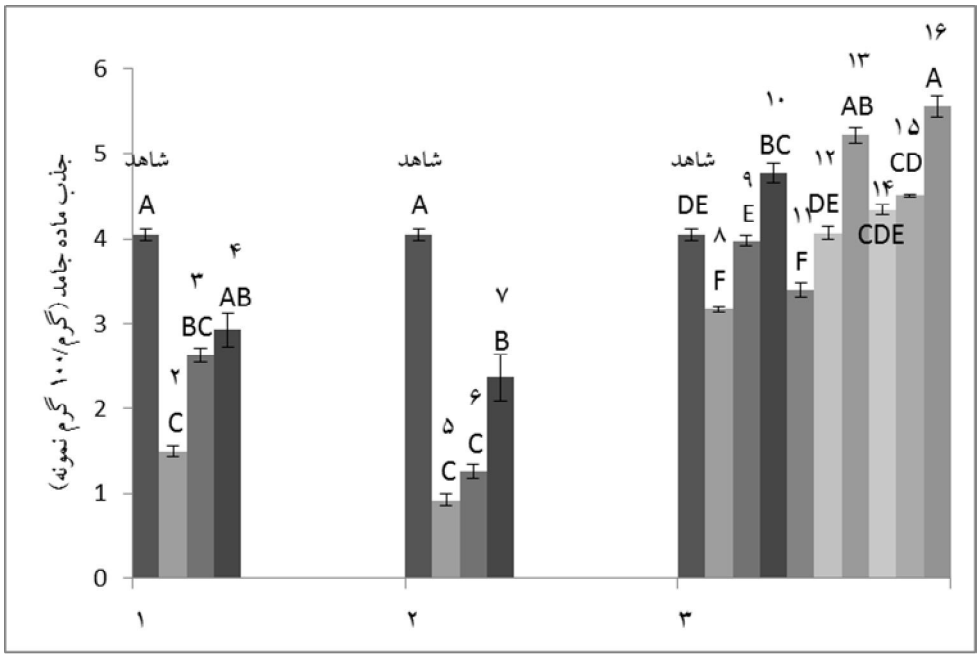
در رابطه با پارامتر افت رطوبت نیز ابتدا اثر لاکتات کلسیم (تیمارهای ۲، ۳ و۴) بررسی شد. مقایسه بین میانگین‌ها با تیمار شاهد نشان داد که جز تیمار (۲) بقیه تیمارها بطور معناداری دارای افت رطوبت بیشتری بودند. همچنین در مقایسه سه تیمار با یکدیگر، افزایش غلظت لاکتات کلسیم منجر به افزایش معنادار افت رطوبت شد. علت این پدیده افزایش فشار اسمزی ناشی از افزایش غلظت می‌باشد (Fernandes *et al*., 2006, Silva *et al*., 2014a). در رابطه با اسید سیتریک نیز افت رطوبت تیمارهای (۵، ۶ و ۷) بیشتر از تیمار شاهد بود. اما اختلاف میان تیمارها در اثر افزایش غلظت اسید سیتریک معنادار نبود. در مقایسه دو فاکتور می‌توان گفت که اسید سیتریک دارای اثر بیشتری بر افت رطوبت است زیرا به علت وزن مولکولی کمتر فشار اسمزی بیشتری ایجاد می‌کند. نتایج آنالیز واریانس بر مقدار جذب ماده جامد و افت آب در جداول (۶-۳) آمده است.

در رابطه با تیمارهای (۱۶-۸)، مقایسه بین تیمارها نشان داد که در غلظت‌های ثابت اسید سیتریک، افزایش غلظت لاکتات کلسیم منجر به افزایش معنادار افت رطوبت شد. اما در غلظت‌های ثابت لاکتات کلسیم افزایش غلظت اسید سیتریک، افزایش معنادار در افت رطوبت را به همراه نداشت. نتیجه کلی تحلیل واریانس، معنادار بودن اثر لاکتات کلسیم، اسید سیتریک و اثر متقابل آنها بود. در مقایسه این تیمارها با تیمار شاهد نیز کلیه تیمارها دارای افت رطوبت بیشتری نسبت به تیمار شاهد بودند. نتایج مشابهی نیز توسط Silva و همکاران (a-۲۰۱۴) در رابطه با افزایش افت رطوبت طی آبگیری اسمزی آناناس بدست آمد که علت آن افزایش فشار اسمزی محلول در نتیجه افزایش غلظت لاکتات کلسیم و ساکارز بیان شد. علت بیشتر بودن نرخ خروج رطوبت نسبت به نرخ جذب مواد حل‌شونده، خاصیت انتخابی نفوذپذیری غشا توصیف شد که در این صورت به مولکول‌های کوچکی چون آب اجازه عبور داده می‌شود اما از عبور پلیمرهایی نظیر ساکارز ممانعت می‌شود.

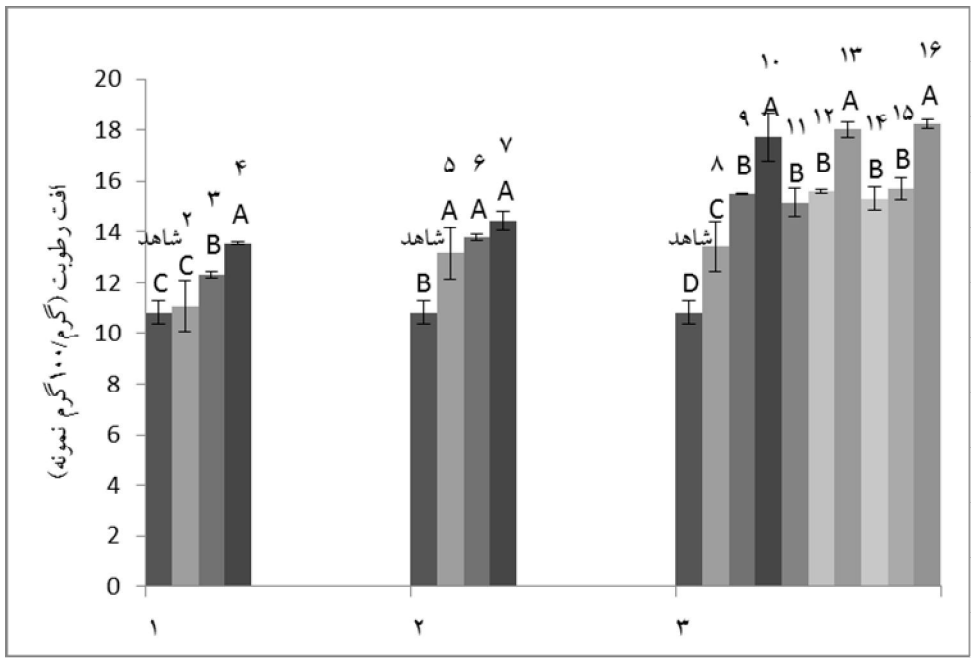
اثر لاکتات‌کلسیم و اسیدسیتریک بر سفتی بافت

طی فرآیند اسمزی علاوه بر جریان‌های جرمی، تغییرات ساختاری نظیر تغییر شکل و شکسته شدن اجزاء غشای سلولی نیز رخ می‌دهد

که ناشی از خروج رطوبت از سلول است (Chiralt and Talens 2005). شدت این تغییرات بستگی به شرایط فرآیند و خصوصیات محصول دارد.



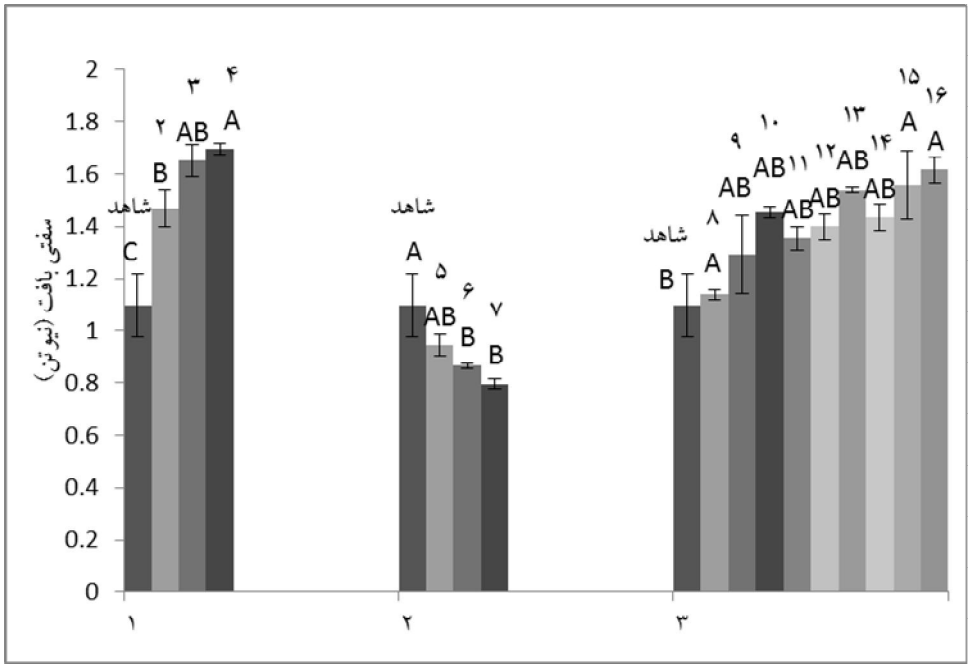
شکل۱- بررسی اثر ۱) لاکتات کلسیم ۲) اسید سیتریک ۳) لاکتات کلسیم و اسید سیتریک بر جذب ماده جامد (عدد بالای هر ستون نمایانگر شماره تیمار می‌باشد).



شکل۲- بررسی اثر ۱) لاکتات کلسیم ۲) اسید سیتریک ۳) لاکتات کلسیم و اسید سیتریک بر افت رطوبت (عدد بالای هر ستون نمایانگر شماره تیمار می‌باشد).

مهمترین تأثیر آبگیری اسمزی بر رفتارهای مکانیکی بافت‌های گیاهی از دست رفتن قابلیت تورم سلولی، تغییر در لاملای میانی، کاهش مقاومت دیواره سلولی و تغییر در اندازه سلول و شکل است. در این صورت همانطور که انتظار می‌رود استحکام بافت کاهش می‌یابد. اما غنی‌سازی محلول اسمزی با کلسیم می‌تواند خصوصیات مکانیکی بافت‌های گیاهی را در نتیجه برقراری پیوند میان یون‌های کلسیم با شبکه دیواره سلولی (تشکیل باند با مولکول‌های پکتین و دیگر اجزاء دیواره سلولی) استحکام بخشد (Anino *et al*., 2006, Torres *et*

al., 2006). سفتی بافت نمونه‌های شاهد و تحت تیمار با استفاده از آزمون نفوذ اندازه‌گیری شد و نتایج در شکل (۳) گزارش شده است. همان طورکه مشاهده می‌شود، در مقایسه با تیمار شاهد نمونه‌های تیمار شده با لاکتات کلسیم، سفتی بیشتری را نشان دادند. همچنین با افزایش غلظت لاکتات‌کلسیم مقدار سفتی افزایش یافت. اما در صورت استفاده از اسیدسیتریک به تنهایی، سفتی بافت در نتیجه جدا نمودن گروه‌های متوکسیل و تبدیل پروتوپکتین به پکتین کاهش می‌یابد. علاوه بر تجزیه مولکول‌های پروتوپکتین، اسید سیتریک به علت توانایی خود در مهارکردن کاتیون‌های دو ظرفیتی (کلات کنندگی)، کلسیم را در محیط بلوکه کرده و از واکنش آن با مولکول‌های پکتین جلوگیری می‌نماید. از طرفی دیگر تبدیل مولکول‌های پروتوپکتین به پکتین، به علت آزاد شدن گروه‌های کربوکسیل می‌تواند یک اثر مثبت جهت واکنش با فلزات دو ظرفیتی نظیر کلسیم تلقی شود (فاطمی، ۱۳۸۶). نتیجه این سه اثر کلی، افزایش سفتی بافت در غلظت ثابت لاکتات‌کلسیم با افزایش اسید سیتریک است. اما داده‌های آزمایشگاهی نشان داد سفتی نهایی که با حضور اسید سیتریک حاصل شد در مقایسه با زمانی که لاکتات کلسیم به تنهایی در محلول وجود داشت، کمتر بود. نتایج آنالیز واریانس سفتی بافت نشان داد که اثر لاکتات‌کلسیم و اسیدسیتریک بر سفتی بافت معنادار اما اثر متقابل آنها معنادار نبود (جدول ۶-۳). نتایج مشابهی نیز توسط Torres و همکاران (۲۰۰۶) طی آبگیری اسمزی انبه با اعمال خلاء پالسی و در غلظت‌های ۱٪ و ۲٪ لاکتات‌کلسیم، ۴۵٪ و ۶۵٪ ساکارز گزارش گردید. اثر مطلوب کلسیم بر خصوصیات مکانیکی انبه بویژه در بالاترین غلظت لاکتات‌کلسیم و کمترین بریکس محلول اسمزی ساکارز و اعمال خلاء بصورت تناوبی مشاهده شد. Wang و همکاران (۲۰۱۰) برای بهبود بافت برش‌های سیب‌زمینی پیش از خشک‌کردن انجمادی به همراه امواج مایکروویو، از غوطه‌وری نمونه‌ها در محلول ۰/۵٪ کلریدکلسیم به مدت ۱۰ دقیقه استفاده نمودند. اما Moraga و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه خود بر روی آبگیری اسمزی گریپ فروت با استفاده از محلول ۵۵٪ ساکارز و ۲٪ لاکتات کلسیم و به مدت ۳ ساعت تحت خلاء (مداوم و تناوبی) اعلام نمودند که کلسیم بر خصوصیات مکانیکی گریپ فروت به علت ساختار ویژه آن (اتصال شمار زیادی کیسه‌های محتوی عصاره) تأثیری ندارد. Silva و همکاران نیز اثر کلسیم بر سفتی بافت آناناس طی آبگیری اسمزی با غلظت‌های ۲٪ و ۴٪ لاکتات کلسیم را فاقد اثر معنادار توصیف نمودند.



شکل۳- بررسی اثر ۱) لاکتات کلسیم ۲) اسید سیتریک ۳) لاکتات کلسیم و اسید سیتریک بر سفتی بافت (عدد بالای هر ستون نمایانگر شماره تیمار می باشد).

اثر لاکتات کلسیم و اسید سیتریک بر شاخص‌های رنگ

رنگ برش‌های موز در ابتدا سفید مایل به زرد (L^* =۷۶/۰۴، a^* = -۴/۴۹ و b^* = ۲۷/۰۷) بود که به تدریج طی آبگیری اسمزی به زرد متمایل به قهوه‌ای تغییر یافت. روند این تغییرات بدین صورت است که مقدار پارامتر روشنی (L^*) کاهش، قرمزی (a^*) و زردی (b^*) افزایش می‌یابد. کاهش مقدار روشنی پیامد بالا رفتن کدورت درنتیجه افت رطوبت و افزایش مواد جامد است. خروج رطوبت علاوه بر جمع شدن ساختار سبب تغلیظ رنگدانه‌ها نیز می‌شود. افزایش مقادیر

شاخص قرمزی و زردی را می‌توان به تولید رنگدانه‌های ملانین و ملانوییدین در اثر واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و میلارد نسبت داد (Chiralt and Talens 2005). فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز متأثر از pH محیط است و فعالیت بهینه آن در دامنه ۷-۶ صورت می‌گیرد. دور شدن از این محدوده در نتیجه افزایش اسیدیته یا قلیاییت منجر به کاهش فعالیت این آنزیم می‌گردد که در این رابطه کاهش pH مؤثرتر است (Archer and Palmer, 1975) . مقدار pH محلول اسمزی ساکارز ۷/۴۵ اندازه‌گیری شد، کاربرد لاکتات-کلسیم به تنهایی pH محیط را به میزان کمی افزایش داد اما کاربرد اسید سیتریک در بیشترین غلظت، pH محلول را تا حد ۲/۲ کاهش داد. نمونه‌های تیمار شده با اسیدسیتریک دارای رنگ روشن‌تر، شاخص قرمزی کمتر و شاخص زردی بیشتر نسبت به تیمار شاهد بودند. بروز رنگ زرد در تیمار (۵، ۶ و ۷) ناشی از هیدراته شدن اسید سیتریک می‌باشد (Lu and Yang 1999). تغییرات کلی رنگ با استفاده از فرمول (۴) محاسبه شد. نتایج مقایسه تیمارهای (۵، ۶ و ۷) با تیمار شاهد در شکل (۴) آورده شده است. تیمارهای (۵و ۶) تفاوت معناداری با تیمار شاهد نداشتند اما تیمار (۷) دارای تغییرات رنگ بیشتری بود.

حسینی و همکاران (۱۳۹۱) از غوطه‌وری برگه‌های زردآلو در محلول اسید سیتریک، اسید آسکوربیک و متابی‌سولفیت سدیم در غلظت‌های ۰/۵٪ و ۰/۷٪ به منظور کاهش قهوه‌ای شدن آنزیمی پیش از خشک‌کردن آفتابی استفاده نمودند. کاربرد هر سه اسید تغییرات رنگ را نسبت به تیمار شاهد بطور معناداری کاهش داد. به هر جهت، بهترین گزینه تیمار اسید سیتریک معرفی شد زیرا در مقایسه با تیمار اسید آسکوربیک دارای هزینه کمتر و پایداری بیشتری است. هرچند متابی‌سولفیت سدیم تغییرات رنگ را به مقدار بیشتری در مقایسه با اسید سیتریک کاهش داد، اما این ماده یک ترکیب آلرژی‌زا با عوارض جانبی بر سلامت انسان محسوب می‌شود. این نتیجه در مطالعه‌ای که Jaworska و همکاران (۲۰۰۴) بر روی تیمار برش‌های موز به صورت غوطه‌وری و یا آنزیم‌بری در محلول اسمزی پیش از تولید کنسرو موز انجام دادند نیز مشاهده شد، بدین منظور از غلظت‌های ۰/۲٪ اسید آسکوربیک، ۰/۸٪ و ۱٪ اسید سیتریک، ۰/۲٪ کلریدکلسیم و غلظت‌های ۳۰٪ و ۵۰٪ ساکارز برای تهیه محلول اسمزی استفاده شد. بررسی تغییرات رنگ با اندازه‌گیری فعالیت آنزیم-های پلی‌فنل‌اکسیداز و پراکسیداز صورت پذیرفت. ارزیابی کلی رنگ، طعم و سفتی، بهترین ترکیب را برای غلظت ۰/۸٪ اسید سیتریک و ۳۰٪ ساکارز نتیجه داد.

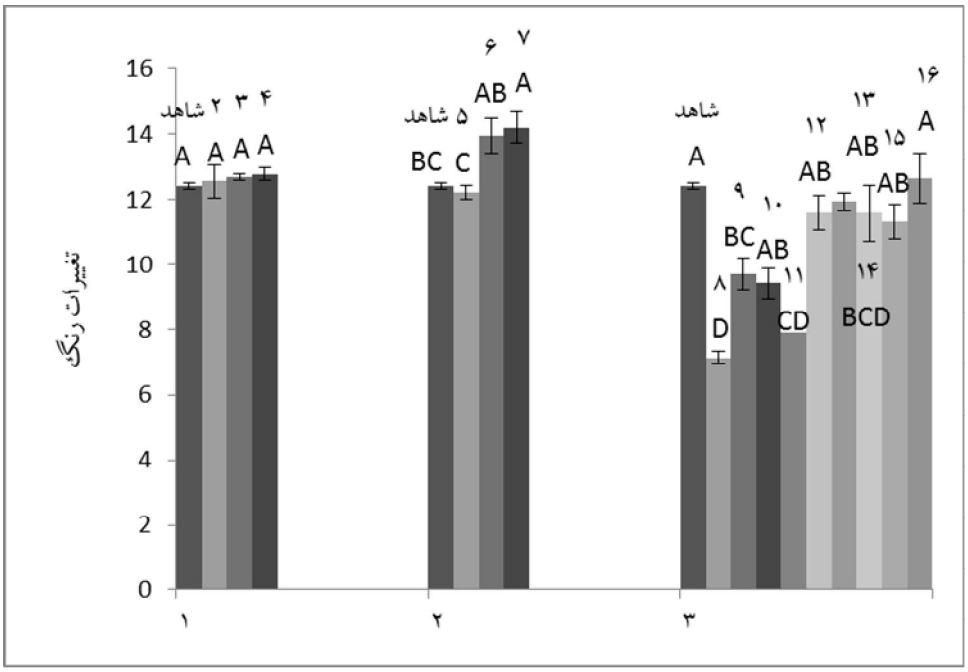
غلظت‌های مختلف لاکتات‌کلسیم به تنهایی افزایش اندکی را در تغییرات کلی رنگ نسبت به تیمار شاهد ایجاد نمود که در مقایسه میانگین‌ها این تفاوت معنادار نبود. این نتیجه در مورد سیب‌زمینی‌های تیمار شده با محلول کلریدکلسیم پیش از خشک‌کردن انجمادی (Wang, Zhang *et al*. 2010) و آبگیری اسمزی آناناس با استفاده از لاکتات‌کلسیم و اسید آسکوربیک (Silva *et al*., 2014a) نیز مشاهده شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد در تیمارهای (۱۶-۸) در غلظت‌های ثابت اسید سیتریک اثر لاکتات کلسیم بر تغییرات رنگ معنادار بود اما اثر اسید سیتریک در غلظت‌های ثابت لاکتات کلسیم معنادار نبود. نتیجه کلی آزمون معنادار بودن اثر لاکتات کلسیم و معنادار نبودن اثر اسید سیتریک و اثر متقابل آنها بود (جداول ۶-۳).

ضریب بهره‌وری

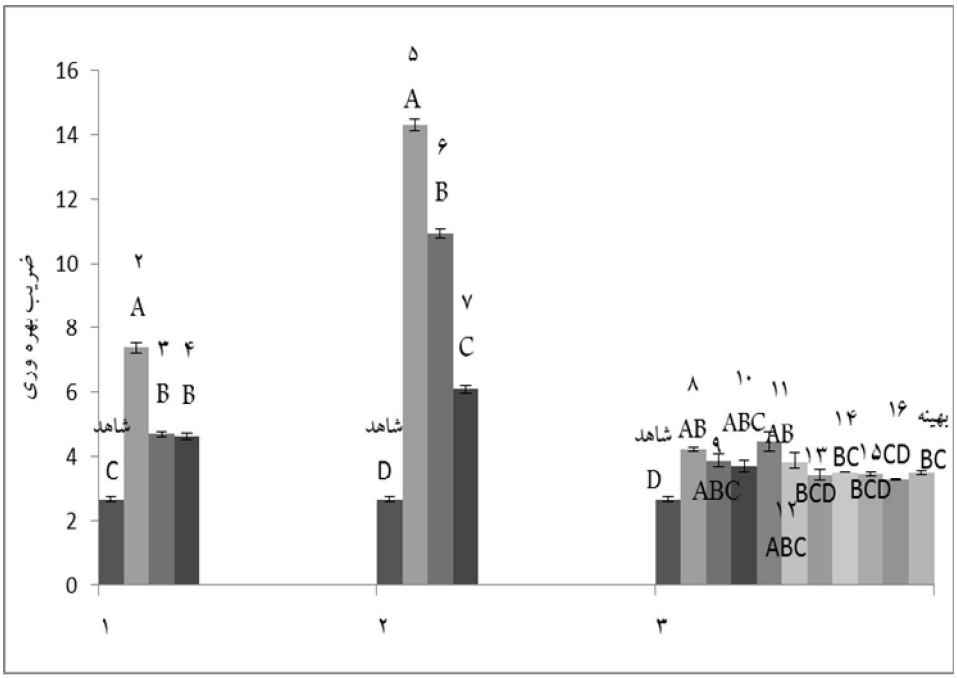
در آبگیری اسمزی هدف مطلوب بیشترین مقدار افت رطوبت به ازای کمترین مقدار جذب مواد جامد است. برای سنجش میزان تأثیر لاکتات کلسیم و اسید سیتریک در راستای این هدف، فاکتوری به نام ضریب بهره‌وری تعریف شد که عبارت است از نسبت افت رطوبت به جذب ماده جامد. در این رابطه تیمارهای (۷-۲) از بیشترین ضریب بهره‌وری برخوردار بودند اما به علت نداشتن رنگ و بافت مناسب تیمارهای مطلوبی بشمار نمی‌روند (جداول ۶-۳). در مورد تیمارهای (۱۶-۸) همانطور که مشاهده می شود بجز سه تیمار (۱۳، ۱۵ و ۱۶) کلیه تیمارها بطور معناداری دارای ضریب بهره‌وری بیشتری نسبت به تیمار شاهد بودند (شکل ۵) که از نظر معیارهای بافت و رنگ در بحث‌های قبلی مورد سنجش قرار گرفته‌اند. لذا کاربرد همزمان لاکتات کلسیم و اسید سیتریک می‌تواند ضمن بالابردن ضریب بهره-وری، سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی موز طی آبگیری اسمزی می-شود.

استخراج شرایط بهینه با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک

شرایط بهینه فرآیند آبگیری اسمزی با استفاده از روش الگوریتم ژنیتک تعیین شد. الگوریتم ژنتیک استفاده از غلظت ۳/۹۹٪ لاکتات-کلسیم و ۰/۸۶٪ اسید سیتریک را پیشنهاد داد که در این شرایط مقدار جذب ماده جامد ۵/۰۷٪، افت آب۱۸/۰۱٪، سفتی بافت ۱/۴۷ و تغییرات رنگ ۱۱/۳۷ پیش‌بینی شد. بمنظور معتبرسازی نتایج بهینه-سازی، شرایط پیش‌بینی شده، مورد آزمایش قرار گرفت. اختلاف پارامترهای اندازه‌گیری‌شده با داده‌های پیش‌بینی شده با استفاده از پارامترهای آماری میانگین مربعات خطای مطلق (MSE)، میانگین مربعات خطای نرمال شده (NMSE) و میانگین خطای مطلق (AME) مورد سنجش قرار گرفت که به ترتیب برابر با ۲/۰۶۲، ۰/۰۲۱ و ۱/۰۹۹ بدست آمد و بیانگر خطای پایین داده‌های آزمایشی و داده‌های پیش‌بینی‌شده بود. ضریب بهره‌وری نیز برای تیمار بهینه محاسبه و با تیمار شاهد مقایسه شد. نتیجه این مقایسه بالاتر بودن این پارامتر برای تیمار بهینه نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۵).



شکل٤- بررسی اثر ۱) لاکتات کلسیم ۲) اسید سیتریک ۳) لاکتات کلسیم و اسید سیتریک بر تغییرات رنگ (عدد بالای هر ستون نمایانگر شماره تیمار می‌باشد).



شکل٥- بررسی اثر ۱) لاکتات کلسیم ۲) اسید سیتریک ۳) لاکتات کلسیم و اسید سیتریک بر ضریب بهره‌وری (عدد بالای هر ستون نمایانگر شماره تیمار می‌باشد).

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای تیمارهای ٤-۲ (مقایسه با تیمار شاهد)

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات					
		افت رطوبت	جذب ماده جامد	سفتی بافت	تغییرات رنگ	ضریب	بهره‌وری
تیمار	۳	۸/۹۵۳**	۶/۵۹۳*	۰/۴۴۷**	۰/۱۴۲^{ns}		۲۲/۴۶۳**
خطا	۴	۰/۴۹۳^{ns}	۰/۶۹۷^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۰/۳۰۷^{ns}		۰/۹۳۱^{ns}
کل	۷	۹/۴۴۶	۷/۲۹۰	۰/۴۷۰	۰/۴۴۹		۲۳/۳۹۳

ns: معنی‌دار نبودن در سطح ۵٪ **: معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ *: معنی‌دار بودن در سطح ۵٪

جدول ٤- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای تیمارهای ۷-۵ (مقایسه با تیمار شاهد)

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات				
		افت رطوبت	جذب ماده جامد	سفتی بافت	تغییرات رنگ	ضریب بهره‌وری
تیمار	۳	۱۵/۲۳۴**	۱۱/۶۴۳**	۰/۱*	۶/۱۵۵^{ns}	۱۴۶/۸۶۷**
خطا	۴	۰/۷۰۵^{ns}	۰/۰۹۲^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۱/۳۶۴^{ns}	۱/۴۷۵^{ns}
کل	۷	۱۵۶/۱۳۸	۱۱/۷۳۴	۰/۱۱۶	۷/۵۱۹	۱۴۸/۳۴۳

ns: معنی‌دار نبودن در سطح ۵٪ **: معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ *: معنی‌دار بودن در سطح ۵٪

جدول ۵- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای تیمارهای ۱٦-۸ (بررسی اثرات متقابل)

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات				
		افت رطوبت	جذب ماده جامد	سفتی بافت	تغییرات رنگ	ضریب بهره‌وری
لاکتات کلسیم	۲	۳۸/۲۱۵**	۷/۳۳۹**	۰/۱۵۴**	۴۵/۶۱۶**	۰/۹۲۴**
اسید سیتریک	۲	۲/۷۶۸*	۲/۱۴۱**	۰/۱۷۴**	۸/۸۸۵^{ns}	۱/۰۲۸**
اثر متقابل	۴	۲/۹۰۰*	۰/۳۲۰^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۲/۷۰۸^{ns}	۰/۳۹۴^{ns}
خطا	۹	۱/۷۲۶	۰/۵۱۴	۰/۰۴۷	۱۱/۸۶۲	۰/۴۹۲
کل	۱۷	۴۵/۶۰۸	۱۰/۳۱۴	۰/۳۹۱	۶۹/۰۷۱	۲/۸۳۹

ns: معنی‌دار نبودن در سطح ٪ ۵ **: معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ *: معنی‌دار بودن در سطح ۵٪

جدول ٦- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای تیمارهای ۱٦-۸ (مقایسه با تیمار شاهد)

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات				
		افت رطوبت	جذب ماده جامد	سفتی بافت	تغییرات رنگ	ضریب بهره‌وری
تیمار	۹	۹۲/۹۰۸**	۹/۹۴۶**	۰/۴۴۷^{ns}	۶۵/۰۲۲**	۴/۵۷۹*
خطا	۱۰	۱/۹۳۱^{ns}	۰/۵۱۹^{ns}	۰/۴۱۳^{ns}	۱۱/۸۶۳^{ns}	۱/۵۴۶^{ns}
کل	۱۹	۹۴/۸۳۹	۱۰/۴۶۵	۰/۸۶۰	۷۶/۸۸۴	۶/۱۲۶

ns: معنی‌دار نبودن در سطح ۵٪ **: معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ *: معنی‌دار بودن در سطح ۵٪

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده نشان داد که کاربرد لاکتات‌کلسیم و اسید سیتریک طی آبگیری اسمزی می‌تواند منجر به حصول کمترین جذب ماده جامد به ازای بیشترین نرخ خروج رطوبت و همچنین افزایش سفتی بافت و کاهش تغییرات رنگ شود. تحقق این هدف نیازمند غلظت‌های بالای لاکتات‌کلسیم است تا سفتی مشابه با میوه تازه حاصل شود. از طرفی غلظت اسیدسیتریک با وجود اثر مثبت بر حفظ رنگ به علت فروپاشی بافت و نقش کلات‌کنندگی خود، نباید از حد خاصی تجاوز نماید. تعیین شرایط بهینه با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک در جهت حصول بیشترین سفتی و نرخ خروج رطوبت، کمترین تغییرات رنگ و جذب ماده جامد صورت گرفت. شرایط پیش‌بینی شده به شرایط مورد انتظار نزدیک بود و تطابق قابل قبولی میان داده‌های پیش‌بینی‌شده و داده‌های مورد آزمون (MSE، NMSE و AME به ترتیب برابر با ۲/۰۶۲، ۰/۰۲۱ و ۱/۰۹۹) بدست آمد.

منابع

حسینی، م.، مصطفوی، م.، هادوی، ا.، رضائی، م.، ۱۳۹۱، بررسی اثر اسید آسکوربیک، اسید سیتریک و متابی سولفیت سدیم بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و اورگانولپتیکی برگه زردآلو (*Prunus armeniaca*) رقم جهانگیری، نشریه علوم باغبانی، ۲۶، ۶۷-۶۳.

فاطمی، ح.، ۱۳۸۶، شیمی مواد غذایی،۱۳۸۶، شرکت سهامی انتشار، تهران، ۲۵۰-۲۴۸.

وطنی اسکویی، ا. و سریع الاطلاق فرد، س.، ۱۳۸۸، استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با اتصالات نیمه صلب. نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد. ۶ ۱۲۰-۱۰۷.

AOAC (1997). Official methods of analysis. Washington: Association of Official Analytical Chemists.

Ali, H. S., et al. (2010). "Osmotic Dehydration of Banana Rings and Tomato Halves." *Journal of American Science* 6(9).

Anino, S. V., et al. (2006). "Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts." *Food Research International* 39(2): 154-164.

Archer, M. C. and J. K. Palmer (1975). "An experiment in enzyme characterization: Banana polyphenoloxidase." *Biochemical Education* 3(3): 50-52.

Barrera, C., et al. (2004). "Ca2+ and Fe2+ influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith)." *Journal of Food Engineering* 65(1): 9-14.

Bico, S. L. S., et al. (2009). "Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana." *Food Control* 20(5): 508-514.

Chauhan, O. P., et al. (2006). "Instrumental textural changes in banana (var. Pachbale) during ripening under active and passive modified atmosphere." *International Journal of Food Properties* 9(2): 237-253.

Chiralt, A. and P. Talens (2005). "Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues." *Journal of Food Engineering* 67(1): 167-177.

Fathi, M., et al. (2011). "Application of fractal theory for prediction of shrinkage of dried kiwifruit using artificial neural network and genetic algorithm." *Drying Technology* 29(8): 918-925.

Fathi, M., et al. (2011). "Application of image analysis and artificial neural network to predict mass transfer kinetics and color changes of osmotically dehydrated kiwifruit." *Food and Bioprocess Technology* 4(8): 1357-1366.

Fernandes, F. A., et al. (2006). "Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying." *Journal of Food Engineering* 77(1): 188-193.

Fernandes, F. A. N. and S. Rodrigues (2008). "Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits." *Drying Technology* 26(12): 1509-1516.

Fernandes, F. A. N. and S. Rodrigues (2011). Ultrasound application as pre-treatment for drying of fruits. *Proceedings of the International Congress on Engineering and Food.*

Garcia-Noguera, J., et al. (2012). "Effect of ultrasonic and osmotic dehydration pre-treatments on the colour of freeze dried strawberries." *Journal of Food Science and Technology*: 1-6.

Hailu, M., et al. (2013). "Review on postharvest technology of banana fruit." *African Journal of Biotechnology* 12(7): 635-647.

Jaworska, G. y., et al. (2004). "Effect of technological measures on the quality of canned banana desserts." *Food Science and Technology* 7(1).

Lu, Y. and C. Q. Yang (1999). "Fabric yellowing caused by citric acid as a crosslinking agent for cotton." *Textile research journal* 69(9): 685-690.

Mavroudis, N. E., et al. (2012). "Osmotic processing: Effects of osmotic medium composition on the kinetics and texture of apple tissue." *Food Research International* 48(2): 839-847.

Mohebbi, M., et al. (2011). "Prediction of moisture content in pre-osmosed and ultrasounded dried banana using genetic algorithm and neural network." *Food and Bioproducts Processing* 89(4): 362-366.

Moraga, M., et al. (2009). "Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit." *Journal of Food Engineering* 90(3): 372-379.

Pereira, L., et al. (2006). "Kinetic aspects, texture, and color evaluation of some tropical fruits during

osmotic dehydration." *Drying Technology* 24(4): 475-484.
Silva, K. S., et al. (2014a). "Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple." *Journal of Food Engineering* 134: 37-44.
Silva, K. S., et al. (2014b). "Osmotic Dehydration of Pineapple with Impregnation of Sucrose, Calcium, and Ascorbic Acid." *Food and Bioprocess Technology* 7(2): 385-397.
Torres, J. D., et al. (2006). "Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango." *Journal of Food Engineering* 74(2): 240-246.
Vega-Galvez, A., et al. (2008). "Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo)." *Journal of Food Engineering* 85(1): 42-50.
Verma, D., et al. (2013). "Application of High Hydrostatic Pressure as a Pretreatment for Osmotic Dehydration of Banana Slices (Musa cavendishii) Finish-Dried by Dehumidified Air Drying." *Food and Bioprocess Technology*: 1-17.
Wang, R., et al. (2010). "Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices." *Journal of Food Engineering* 101(2): 131-139.
Zhao, D., et al. (2013). "The effect of osmosis pretreatment on hot air drying and microwave drying characteristics of chili (Capsicum annuum L.) flesh." *International Journal of Food Science & Technology* 48(8): 1589-1595.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 12, No. 1, Apr. May. 2016, p. 139- 151

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۲، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۳۹۵ ص.۱۵۱-۱۳۹

Study of osmotic dehydration of banana using calcium lactate and genetic algorithm optimization of process

Z. Farhani Nejad[1], M. Fathi[2], M. Shahedi[3]

Received: 2014.06.17
Accepted: 2014.08.07

Introduction: Banana is one of the most popular tropical fruits in all over the world with notable post-harvest losses. Due to its high moisture content preventing long preservation period. So, it needs a proper preservation method to prevent product lost especially in main produceing countries. Since banana is an un-freezable fruit, thermal processing such as drying or canning could be more appropriate for prolonging its shelf life. On the other hand, high energy consumption and being cost intensive are two most important disadvantages of thermal processing. In order to decrease the side effects of thermal process on quality parameters, pretreatment of samples could be applied to reduce time of main process.Osmotic dehydration is a non-thermal pretreatment which provides partial removal of water by immersing sample in an osmotic solution.But this process also takes a long immersion time to enough reduction of moisture. So this leads to undesirable effect on texture and colors.This study was performed to eliminate some side effects of osmotic dehydration on quality and finally introduce an optimized condition resulting best performance of process.A novel all-knowing method for optimization of process is genetic algorithm (GA) which is a search heuristic that mimics process of natural selection. It generates solutions for the optimization of problems using techniques inspired by natural evolution, such as inheritance, mutation, selection, and crossover. In this research, genetic algorithm was applied to predict optimum condition of osmotic dehydration.

Material and methods: Osmotic dehydration was performed using aqueous solution of sucrose in concentration of 45% (w/w) for immersion time of 3 hr. The first challenge was improving mechanical properties of banana slices by adding calcium lactate to sucrose solution in concentrationsof 0, 2, 3 and 4%.For the next step in order to protect samples from enzymatic browning mixture of ascorbic acid (0.25 %) and citric acid (0, 0.5, 1, and 1.5%) were used.The pH of solution was measured for each level of adding citric acids. The efficiency of operation was estimated by computingwater loss and solid gain. Firmness of dehydrated samples wasmeasured using a texture analyzer (INSTRON, 1140, Singapore) and penetration test. Image acquisition technique was applied to measure L^*, a^* and b^* indices.The coefficient of efficiency was defined as the ratio of water loss to solid gain and calculated to estimate performance of treatment in new condition. Finally, optimized conditionsfor maintaining the lowest solid gain and color changes, the highest water loss and firmness waterlosswere predicted by genetic algorithms method. The accuracy of model was investigated using statistical parameters such as mean absolute error (AME), normalized mean square error (NMSE),mean square error (MSE).

Results and discussion: The results of experiments showed a significant increase of firmness by adding lactate calcium. This observation was due to complex formation between calcium and cell wall ingredients. Thesecomplexes have a decreasing effect on solid gain.Because complexes preventedmacromoleculesentering such as sucrose to the cells.On the other hand,calcium lactate and citric acid had interaction on mentioned parameters.Firmness showed less firmness when citric acid was added to the solution. Because citric acid as a chelating agents can blockdivalent cations and prevent from effective reaction with plant cells.Also citric acid can disconnect methoxyl groups from protopectinproducing softer texture.However, treated samples still showed firmer texture than control sample. It could be due to the additional effect of citric acid which makes carboxyl groups available for divalent calcium cations during conversion of protopectin to the pectin.For color parameters,only use of citric acid could not decrease the total change of color because yellow index increased due to the hydration of citric acids. But for the use of two factors, a significant decrease of total change of color was observed.For water loss, increase of solvents in each treatment led to raise of water loss due to the increase of osmotic pressure.In this circumstance determination of suitable concentration for each factorresulting best

1, 2 and 3- MSc Student, Asistant Professor and Professor Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan Iran
(*- Corresponding author: Email: mfathi@cc.iut.ac.ir)

performance is complex, so it is necessary to apply a system canpredict optimized conditions. Genetic algorithms estimated optimum condition formaximum firmness and water loss, minimum solid gain and total change of color.In this condition the concentrations of lactate calcium and citric acid were %3.99 and %0.86, respectively. Also predicted values for water loss, solid gain, firmness and total change of color were earned %18.01, %5.07, 1.47 N and 11.37.MAE, NMSE and AME parameters (2.062, 0.021, and 1.099 respectively) were used for investigation of difference between estimated and experimental data which showed high efficiency of genetic algorithm for optimization of osmotic dehydration of banana.Investigating the efficiency ofcoefficient of treatments showed that application of both factors (calcium lactate and citric acid) significantly had more efficiency in comparison to the control samples regarding quality factors.

Keywords: Calcium lactate, enzymatic browning, genetic algorithm, optimization, osmotic dehydration.