

بهینه‌سازی فرآیند ترکیبی آبگیری اسمزی در فشار کاهش یافته ناپیوسته - خشک کردن با هوای داغ برش‌های پرتقال با استفاده از روش سطح پاسخ

مونا عزیزی خصال^a، علیرضا بصیری^{b*}، یحیی مقصدلو^c

^a دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌اله املی، گروه علوم صنایع غذایی، مازندران، ایران
^b استادیار سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، گروه صنایع غذایی و تبدیلی، تهران، ایران
^c دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌اله املی، دانشکده کشاورزی و علوم و صنایع غذایی، مازندران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۲۰

چکیده

مقدمه: کاربرد آبگیری اسمزی به عنوان پیش‌تیمار در فرآیند خشک کردن، در کنار اثرات مثبت آن بر روی فرآیند و هم‌چنین ویژگی‌های کیفی فرآورده تولید، بعلت کندی سرعت تبادل جرم و زمان‌بری آن، با محدودیت روبرو می‌باشد. یکی از عواملی که می‌تواند به کاهش این محدودیت کمک نماید، انجام فرآیند در شرایط فشار کاهش یافته ناپیوسته می‌باشد. اعمال کاهش فشار در ابتدای آبگیری اسمزی، باعث انبساط منافذ محصول و نفوذ بیشتر محلول اسمزی به درون محصول گردیده، که به دلیل افزایش سطح تماس محلول اسمزی و محصول، سرعت تبادل جرم افزایش می‌یابد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، آبگیری اسمزی تحت فشار کاهش یافته ناپیوسته در ترکیب با خشک کردن با هوای داغ برش‌های پرتقال بررسی گردید. اثرات متغیرهای غلظت محلول اسمزی (۴۰-۶۰ درصد وزنی/ وزنی)، دمای محلول (۵۰-۳۰ درجه سلسیوس)، زمان تماس محصول با محلول اسمزی (۱۲۰-۳۰۰ دقیقه)، کاهش فشار در ابتدای فرآیند (۳۰۰-۱۰۰ میلی‌بار به مدت ۱۵ دقیقه) و دمای خشک کردن (۷۰-۴۰ درجه سلسیوس)، بر روی میزان تغییرات رنگ و نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده، با روش رویه پاسخ مورد بررسی قرار گرفت. بهینه‌سازی فرآیند با هدف بیشینه کردن نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده و کمینه کردن میزان تغییرات رنگ انجام گرفت. **یافته‌ها:** متغیرهای دمای محلول اسمزی و دمای خشک کردن تاثیر معنی‌داری (در سطح $p \leq 0.01$) را بر میزان تغییرات رنگ و نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده را برجای می‌گذارند، به گونه‌ای که با افزایش دما در هر دو مرحله آب‌گیری اسمزی و خشک کردن تکمیلی، میزان تغییرات رنگ در فرآورده نهایی و نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: شرایط بهینه به دست آمده شامل دمای محلول اسمزی (۳۵ درجه سلسیوس)، غلظت محلول (۶۰ درصد، وزنی/ وزنی)، زمان تماس محصول با محلول اسمزی (۱۸۰ دقیقه)، دمای خشک کردن (۴۱/۵ درجه سلسیوس) و فشار (۲۴۰ میلی‌بار) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبگیری اسمزی، برش‌های پرتقال، بهینه‌سازی، خلا ناپیوسته، روش رویه پاسخ

گرفته توسط گرس و همکاران بر روی آبگیری سبزی‌ها نشان داد که کاهش فشار نه تنها باعث افزایش سرعت انتقال جرم، بلکه باعث بهبود ساختار و ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی محصولات تحت بررسی می‌گردد (Gras *et al.*, 2002). پژوهش‌های انجام شده بر روی کاربرد پیش‌فرآیند آبگیری اسمزی با فشار کاهش یافته به عنوان پیش‌تیمار در خشک کردن با جابجایی هوا نشان دادند که به کارگیری این پیش‌فرآیند باعث تولید محصولاتی با بافتی نرم می‌گردند (Maltini *et al.*, 1993). تحقیقات انجام گرفته توسط فیتو و همکاران نشان داد که استفاده از کاهش فشار در آبگیری اسمزی می‌تواند جهت غنی‌سازی میوه‌ها و سبزی‌ها با ترکیبات موردنظر و توسعه غذاهای عمل‌گرا مورد استفاده قرار گیرد (Fito *et al.*, 2001). تورجیانی و برتولو نشان دادند که استفاده از کاهش فشار در آبگیری اسمزی موجب افزایش پایداری رنگدانه‌ها در طی مراحل تکمیلی خشک کردن و همچنین افزایش انبارمانی فرآورده می‌شود (Torreggiani & Bertolo, 2001).

در این پژوهش متغیرهای موثر در فرآیند خشک کردن ترکیبی اسمز- هوای داغ (غلظت و دمای محلول اسمزی، زمان تماس محصول با محلول، دمای خشک کردن و میزان فشار محیط) بر روی نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده و تغییرات رنگ بررسی و داده‌های حاصل با روش سطح پاسخ، آنالیز و بهینه‌سازی شدند.

مواد و روش‌ها

- مواد

پرتقال رقم والنسیا پس از خریداری و تا شروع آزمایش‌ها در دمای ۵-۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. رطوبت اولیه نمونه‌ها با قرارگیری در آون اتمسفریک و در دمای 2 ± 102 درجه سلسیوس تا دستیابی به وزن ثابت سنجیده شدند (AOAC, 1984). رطوبت اولیه نمونه‌ها 2 ± 86 درصد بر مبنای تر بود. قبل از انجام هر آزمایش، مقدار موردنیاز از یخچال خارج شده و در دمای اتاق قرار داده شد. سپس عملیات پوست‌گیری انجام شده و نمونه‌ها به ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شدند.

خشک کردن با جریان جابجایی هوا، یکی از روش‌های رایج در خشک کردن محصولات کشاورزی به شمار می‌آید. اعمال دماهای بالا به همراه زمان‌های نسبتاً طولانی فرآیند در این روش، باعث می‌گردد که ویژگی‌های کیفی فرآورده‌های حاصل در این روش دچار تغییرات زیادی گردند از آن جمله می‌توان به تخلخل پایین، تغییرات شدید رنگ، جذب مجدد آب پایین و چروکیدگی بالا اشاره نمود (Fito *et al.*, 2001). بکارگیری فرآیندهای آماده‌سازی از جمله آبگیری اسمزی می‌تواند باعث کاهش اثرات تخریبی در فرآیند اصلی گردد. آبگیری اسمزی به دلایلی مانند خارج نمودن بخشی از رطوبت محصول بدون تغییر فاز و به دنبال آن کاهش انرژی‌بری فرآیند و همچنین کاهش تخریب ویژگی‌های کیفی محصول در طول فرآوری، به عنوان پیش‌تیمار در محصولات متعددی تحت بررسی قرار گرفته است (Ertekin & Soltanolu, 2000; Lenart & Debrowska, 2001; Torringa, 2001; Shukla & Singh, 2007). سرعت پایین تبادل جرم و به دنبال آن زمان‌بری بالای فرآیند، باعث گردیده است که تحقیقات گسترده‌ای بر چگونگی افزایش سرعت تبادل جرم در این روش انجام گردد. یکی از مکانیسم‌هایی که امروزه مورد توجه قرار گرفته است، بکارگیری کاهش فشار در فرآیند آبگیری به صورت ناپیوسته می‌باشد. در این روش فشار در ابتدای فرآیند برای مدت زمان کوتاهی کاهش یافته و پس از آن، فرآیند در فشار محیطی ادامه می‌یابد (Corzo & Bracho, 2007). اعمال کاهش فشار به صورت ناپیوسته، باعث انبساط منافذ محصول، نفوذ بیشتر محلول اسمزی، افزایش سطح تماس محلول و محصول و به دنبال آن سرعت انتقال جرم می‌گردد. کاهش فشار در این روش، در کنار افزایش میزان خروج آب از محصول، بر روی مقدار نفوذ مواد حل شده به درون محصول اثرات ناچیزی دارد (Ozdemir *et al.*, 2008). سینتیک آبگیری اسمزی برش‌های نارگیل در دو حالت فشار اتمسفریک و کاهش یافته توسط روستوگی و راغوارو بررسی گردید. نتایج حاصل نشان دادند که کاهش فشار باعث افزایش سرعت انتقال جرم در طول فرآیند آبگیری اسمزی می‌گردد (Roastogi & Raghavarao, 1996). تحقیقات انجام

- طراحی و تجزیه و تحلیل آزمایش ها

اثرات متغیرهای دمای محلول اسمزی، مدت زمان تماس محصول با محلول، غلظت محلول اسمزی، دمای خشک کردن تکمیلی و فشار بر روی پاسخ‌های تغییرات رنگ و نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل‌شده، با روش آماری رویه پاسخ و تولید داده‌ها از طریق طرح مرکب مرکزی^۱ در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. با انجام پیش‌آزمایش‌ها، محدوده متغیرهای مورد بررسی تعیین و پس از وارد کردن آن‌ها به نرم‌افزار JMP (ویرایش ۷ محصول شرکت SAS) نقشه آزمایش‌ها (جدول ۱) شامل ۲۸ آزمون به دست آمد.

- روش آماده‌سازی محلول‌ها و انجام آزمایشات

محلول‌ها با غلظت موردنیاز تهیه و با نسبت ۵ به ۱ (محلول به محصول) به درون جار بی‌هوای مجهز به فشارسنج منتقل و برای دستیابی به دمای موردنظر بر روی هات‌پلیت مجهز به همزن قرار گرفتند. کنترل دمای محلول با دماسنج جیوه‌ای که در درون محلول قرار داشت، انجام می‌گردید. بعد از شستشوی نمونه‌ها و جداسازی آب سطحی آنان توسط دستمال کاغذی، نمونه‌ها برش داده شدند. برش‌های تهیه شده در محلول اسمزی که قبلاً به دمای مورد نظر رسیده بودند، قرار گرفته و فشار مورد نظر درون جار برقرار و پس از گذشت ۱۵ دقیقه، مجدداً فشار محیط ایجاد شده و آب‌گیری اسمزی در فشار محیط ادامه یافت. پس از گذشت زمان مورد نظر برای هر آزمایش، نمونه‌ها از محلول خارج، ۳۰ ثانیه با آب شستشو شده و بعد از خشک‌کردن سطوح آنها، مجدداً توزین شدند. در ادامه، نمونه‌ها بر روی سطوح حامل قرار گرفته و به درون خشک‌کن با جابجایی هوای گرم که قبلاً به دمای موردنظر رسانده شده بود، جهت خشک‌کردن تکمیلی منتقل گردیدند. پس از سپری شدن زمان مورد نظر، نمونه‌ها از خشک‌کن خارج شده و مجدداً توزین شدند. میزان خروج آب و جذب ماده جامد از طریق روابط ۱ و ۲ به دست آمدند (Singh et al., 2005).

(رابطه ۱)

$$SG (\%) = \frac{X_{F}^{ST} M_{f}^{0} - X_{0}^{ST} M_{0}^{0}}{M_{0}^{0}} \times 100$$

(رابطه ۲)

$$WL (\%) = \frac{X_{0}^{W} M_{0}^{0} - X_{f}^{W} M_{f}^{0}}{M_{0}^{0}} \times 100$$

X_{f}^{ST} : محتوای نهایی ماده جامد نمونه آبیگری اسمزی شده

M_{f}^{0} : وزن نهایی نمونه اسمزی (g)

M_{0}^{0} : وزن اولیه نمونه (g)

X_{0}^{ST} : محتوای مواد جامد نمونه اولیه

X_{0}^{W} : محتوای رطوبت اولیه

X_{f}^{W} : محتوای رطوبت نهایی

در این پژوهش جهت سنجش تغییرات رنگ فرآورده نسبت به نمونه اولیه از دستگاه هاترلب (Color Flex) استفاده گردید. رنگ‌سنج ابتدا با استفاده از صفحه کالیبراسیون سیاه و سپس سفید کالیبره گردید و پس از آن رنگ‌سنجی نمونه‌ها انجام گرفت. تفاوت رنگ بین نمونه‌های فرآوری شده و نمونه اولیه یعنی ΔE توسط رابطه ۳ محاسبه گردید.

(رابطه ۳)

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

یافته‌ها

- اثرات متغیرهای تحت بررسی بر روی میزان تغییرات رنگ^۱

نتایج تجزیه واریانس مربوط به پاسخ رنگ نشان‌دهنده کارایی مدل به دست آمده در سطح $p \leq 0.01$ می‌باشد (جدول ۲). رابطه دمای خشک‌کردن و دمای محلول اسمزی بر میزان تغییرات رنگ (شکل ۱)، بیانگر افزایش تفاوت رنگ فرآورده با محصول اولیه با افزایش دمای خشک‌کردن و دمای محلول اسمزی می‌باشد. از سوی دیگر با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان تغییرات رنگ کاهش می‌یابد. در محدوده فشار تحت بررسی، با افزایش فشار عملیاتی میزان تغییرات رنگ افزایش می‌یابد (شکل ۲). در خصوص اثرات زمان تماس محلول با محصول بر روی تغییرات رنگ، روند متفاوتی دیده می‌شود بدین صورت که بیشترین تغییرات رنگ در کمترین زمان تماس

¹ Central Composite Design

بهینه‌سازی فرآیند ترکیبی آبگیری اسمزی در فشار کاهش یافته ناپیوسته

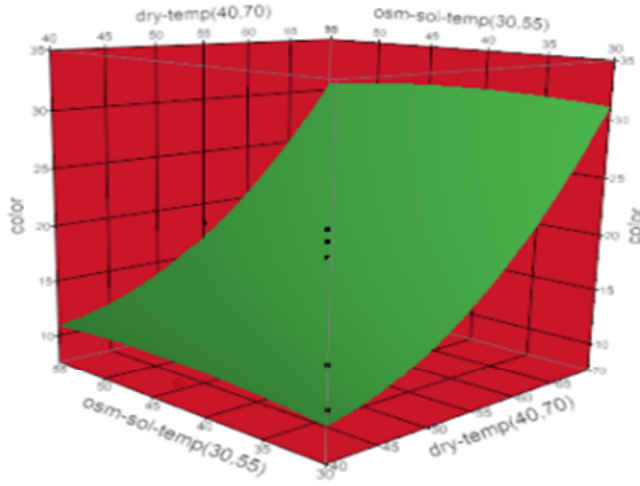
وجود داشته و با افزایش آن تا حدود ۱۸۰ دقیقه کاهش می‌یابد و با افزایش بیشتر مدت زمان تماس میزان تغییرات رنگ مجدداً افزایش می‌یابد (شکل ۳).

جدول ۱- نقشه آزمایش‌ها و داده‌های حاصل از آزمایشات

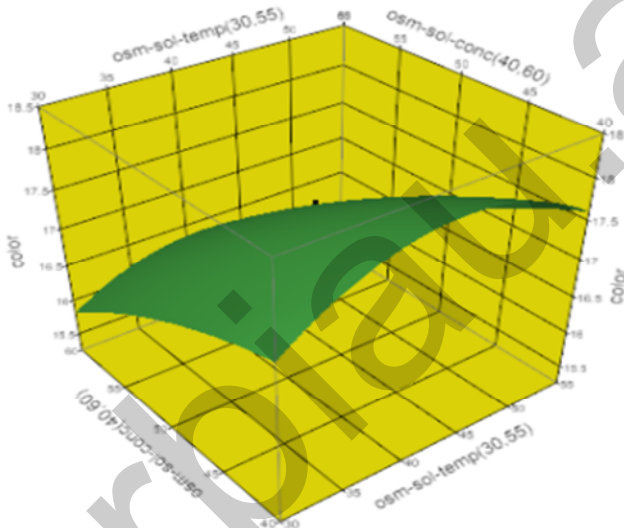
شماره آزمون	متغیرها						پاسخ‌ها
	دمای محلول (°C)	غلظت محلول (% w/w)	زمان (min)	فشار (mbar)	دمای خشک‌کردن (°C)	تغییرات رنگ (ΔE)	
۱	۴۲/۵	۵۰	۲۴۰	۲۰۰	۵۵	۲۶/۶۴	۱۵/۹۰
۲	۴۲/۵	۵۰	۱۸۰	۲۰۰	۷۰	۲۵/۸۰	۱۱/۰۰
۳	۴۲/۵	۵۰	۱۸۰	۱۰۰	۵۵	۲۶/۲۰	۱۷/۱۰
۴	۴۲/۵	۵۰	۱۸۰	۳۰۰	۵۵	۲۸/۱۹	۲۷/۷۵
۵	۴۲/۵	۵۰	۱۸۰	۲۰۰	۴۰	۲۵/۶۰	۱۵/۲۰
۶	۴۲/۵	۵۰	۱۸۰	۲۰۰	۵۵	۲۷/۵۲	۱۶/۸۰
۷	۴۲/۵	۶۰	۱۸۰	۲۰۰	۵۵	۱۸/۱۸	۱۵/۶۶
۸	۵۵	۶۰	۲۴۰	۳۰۰	۴۰	۱۷/۶۶	۲۷/۴۸
۹	۵۵	۴۰	۲۴۰	۳۰۰	۷۰	۳۱/۵۹	۲۷/۸۰
۱۰	۳۰	۶۰	۱۲۰	۱۰۰	۷۰	۱۷/۴۵	۲۱/۳۹
۱۱	۵۵	۶۰	۱۲۰	۱۰۰	۴۰	۱۸/۱۹	۱۴/۱۹
۱۲	۳۰	۶۰	۲۴۰	۱۰۰	۴۰	۱۹/۴۹	۱۲/۰۰
۱۳	۳۰	۴۰	۱۲۰	۳۰۰	۷۰	۳۰/۹۵	۲۸/۰۰
۱۴	۵۵	۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۷۰	۳۲/۱۲	۱۶/۶۰
۱۵	۵۵	۴۰	۱۲۰	۳۰۰	۴۰	۲۱/۸۶	۲۱/۰۰
۱۶	۴۲/۵	۵۰	۱۸۰	۲۰۰	۵۵	۲۷/۵۰	۱۶/۸۲
۱۷	۴۲/۵	۵۰	۱۲۰	۲۰۰	۵۵	۲۵/۳۲	۱۷/۳۳
۱۸	۵۵	۶۰	۲۴۰	۱۰۰	۷۰	۱۶/۴۰	۱۶/۶۰
۱۹	۳۰	۵۰	۱۸۰	۲۰۰	۵۵	۲۸/۴۵	۱۶/۸۰
۲۰	۳۰	۴۰	۲۴۰	۳۰۰	۴۰	۳۱/۱۲	۲۱/۰۰
۲۱	۵۵	۶۰	۱۲۰	۳۰۰	۷۰	۱۵/۶۰	۲۷/۵۴
۲۲	۳۰	۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۴۰	۳۰/۰۰	۱۴/۰۰
۲۳	۴۲/۵	۴۰	۱۸۰	۲۰۰	۵۵	۳۲/۲۳	۱۶/۸۳
۲۴	۵۵	۴۰	۲۴۰	۱۰۰	۴۰	۳۰/۰۴	۱۱/۸۵
۲۵	۵۵	۵۰	۱۸۰	۲۰۰	۵۵	۲۱/۸۳	۱۶/۶۰
۲۶	۳۰	۴۰	۲۴۰	۱۰۰	۷۰	۳۲/۶۰	۱۳/۸۰
۲۷	۳۰	۶۰	۱۲۰	۳۰۰	۴۰	۱۹/۲۸	۲۸/۰۰
۲۸	۳۰	۶۰	۲۴۰	۳۰۰	۷۰	۱۸/۷۰	۲۷/۶۶

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس پاسخ تغییرات رنگ

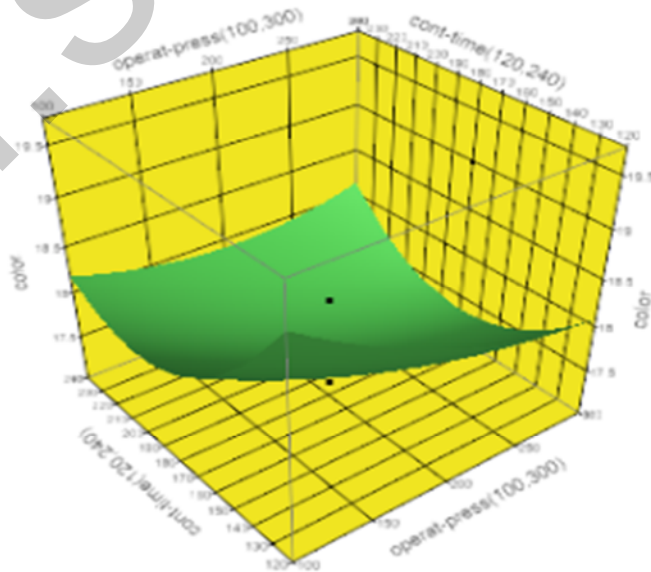
منبع تغییر پذیری	مجموع مربعات	درجات آزادی	میانگین مربعات	F ₀	pRF
مدل	۲۰۱۷/۶۶۸۹	۲۰	۱۰۰/۸۸۳	۲۷/۶۶۷۶	۹۹-۰/۰۰۰۱
عدم برازش	۲۵/۴۹۹۶۶۱	۶	۴/۲۴۹۴۴	۱۷۵/۵۱۷۵	۰/۰۵۷۷
خطای محض	۰/۰۲۴۲۰۰	۱	۰/۰۲۴۲۰		
کل	۲۵/۵۲۳۸۶۱	۷			



شکل ۱- اثرات متغیرهای دمای محلول اسمزی و دمای خشک کردن بر روی تغییرات رنگ



شکل ۲- اثرات متغیرهای دما و غلظت محلول اسمزی بر روی تغییرات رنگ



شکل ۳- اثرات متغیرهای فشار و زمان تماس محلول و محصول بر روی تغییرات رنگ

بهینه‌سازی فرآیند ترکیبی آبگیری اسمزی در فشار کاهش یافته ناپیوسته

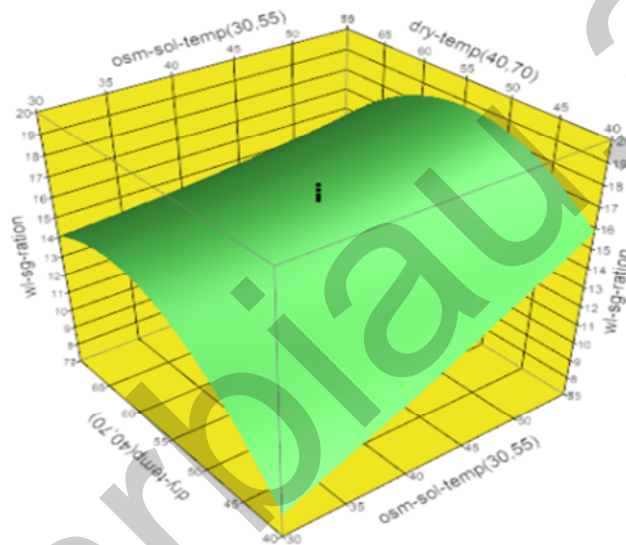
خشک کردن و دمای محلول اسمزی می‌باشد. از سوی دیگر با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان WL/SG افزایش می‌یابد (شکل ۵). اثرات زمان تماس محلول با محصول بر روی میزان WL/SG، بدین صورت است که با افزایش زمان تماس محلول با محصول و کاهش فشار، میزان WL/SG افزایش می‌یابد (شکل ۶).

اثرات متغیرهای تحت بررسی بر روی نسبت WL/SG

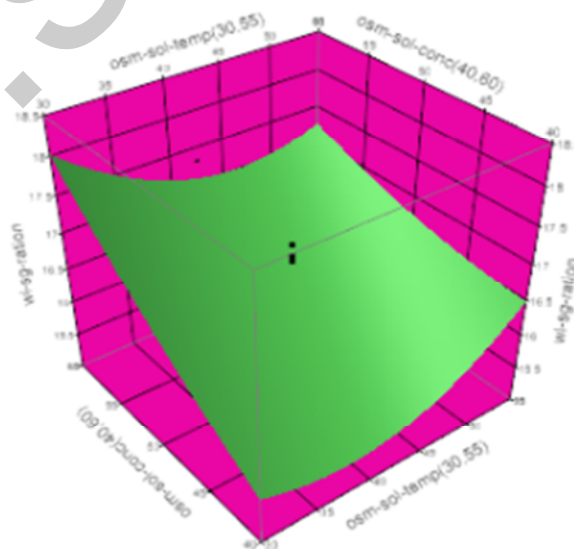
نتایج تجزیه واریانس مربوط به پاسخ نسبت WL/SG نشان‌دهنده کارایی مدل به دست آمده در سطح $p \leq 0.01$ می‌باشد (جدول ۳). رابطه دمای خشک کردن و دمای محلول اسمزی بر نسبت WL/SG (شکل ۴)، بیانگر افزایش میزان WL/SG فرآورده با افزایش دمای

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس پاسخ نسبت WL/SG

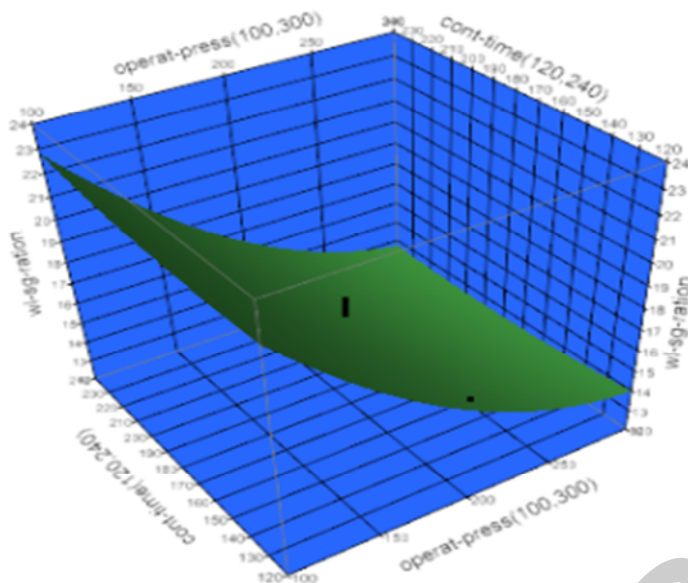
منبع تغییرپذیری	مجموع مربعات	درجات آزادی	میانگین مربعات	F_0	pRF
مدل	۴۳۴/۷۰۷۵۰	۲۰	۲۱/۷۳۵۴	۳۵/۹۹۴۷	۰/۰۰۰۱
عدم برازش	۳/۴۷۰۴۸۹۹	۶	۰/۵۷۸۴۱۵	۰/۷۶۴۶	۰/۷۰۳۶
خطای محض	۰/۷۵۶۴۵۰۰	۱	۰/۷۵۶۴۵۰		
کل	۴/۲۲۶۹۳۹۹	۷			



شکل ۴- اثرات متغیرهای دمای محلول اسمزی و دمای خشک کردن بر WL/SG



شکل ۵- اثرات متغیرهای غلظت و دمای محلول اسمزی بر WL/SG



شکل ۶- اثرات متغیرهای فشار و زمان تماس محصول با محلول اسمزی بر WL/SG

بحث

اثرات متغیرهای تحت بررسی بر روی شاخص‌های کیفی

نتایج به دست آمده نشان دادند که افزایش دما در هر دو مرحله آب‌گیری اسمزی و خشک‌کردن تکمیلی، باعث افزایش میزان تغییرات رنگ در فرآورده نهایی می‌گردد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه بیان نمود که از سویی با افزایش دما، کاراملیزاسیون ترکیبات قندی و از سوی دیگر واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی (میلارد) تشدید می‌گردد. در این واکنش، عامل آلدئیدی قندها و عامل آمینی پروتئین‌ها با یکدیگر واکنش داده و باعث ایجاد رنگیزه‌های قهوه‌ای می‌شوند. نتایج تحقیقات به دست آمده توسط کورکیدا و همکاران (۲۰۰۰)، امام جمعه و علاء الدینی (۱۳۸۴) و مارتینز و همکاران (۲۰۱۱) تایید کننده اثرات تخریبی افزایش دما بر تغییرات رنگ می‌باشد.

داده‌های حاصل از آزمایشات همچنین نشان دادند که با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان تغییرات رنگ کاهش می‌یابد. دلیل این امر آن است که افزایش غلظت محلول اسمزی باعث سرعت‌بخشی به خروج آب در فرآیند آب‌گیری اسمزی شده و با کاهش فعالیت آبی نمونه‌ها، سرعت واکنش‌های قهوه‌ای شدن در نمونه‌ها کاسته خواهد شد. نتایج به دست آمده با نتایج ارائه شده از سوی جلالی و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. افزایش زمان تماس محلول با محصول تا حدود ۱۸۰ دقیقه باعث کاهش

تغییرات رنگ در فرآورده نهایی می‌گردد درحالی‌که پس از گذشت این زمان با یک روند افزایشی در تغییرات رنگ مواجه خواهیم بود که دلیل این امر آن است که بیشترین سرعت خروج آب در ساعات اولیه فرآیند رخ می‌دهد و پس از آن سرعت خروج آب کاهش می‌یابد در حالی‌که اثرات تخریبی حرارت همچنان ادامه خواهند یافت. همچنین با افزایش فشار عملیاتی میزان تغییرات رنگ افزایش می‌یابد. دلیل آن را می‌توان به تغییرات فیزیکی و شیمیایی ایجاد شده در نمونه‌ها نسبت داد. افزایش فشار سبب تخریب یا کاهش رنگدانه‌های نمونه شده و سرعت قهوه‌ای شدن در فرآیند را تشدید می‌نماید، که گزارشات مارتینز و همکاران (۲۰۱۱) تایید کننده این مطلب می‌باشد.

با توجه به اینکه فرآیند آب‌گیری اسمزی یک فرآیند انتقال جرم دو مولفه‌ای شامل خروج آب و نفوذ مواد حل‌شده به صورت هم‌زمان می‌باشد، لذا ارزیابی هر یک از متغیرهای SG و WL به صورت جداگانه، امکان ارزیابی دقیقی از کیفیت و کارایی این فرآیند را فراهم نمی‌سازد، به همین دلیل نیز نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل‌شده (WL/SG) به عنوان شاخصی برای کارایی این فرآیند معرفی گردیده است. بدیهی است هر عاملی که سبب افزایش این نسبت گردد در معرفی شرایط مناسب برای فرآیند آب‌گیری اسمزی موثر می‌باشد. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت محلول اسمزی، نسبت WL/SG روندی افزایشی پیدا می‌کند. افزایش غلظت

بهینه‌سازی فرآیند ترکیبی آبگیری اسمزی در فشار کاهش یافته ناپیوسته

همچنین سبب افزایش میزان نفوذ عامل و یا عوامل اسمزی به درون بافت نمونه می‌شود. در این پژوهش این روند افزایشی در مورد میزان خروج آب بارزتر بود و بنابراین میزان WL/SG افزایش یافته است. همچنین با افزایش دمای خشک‌کن نیز این نسبت WL/SG افزایش می‌یابد. انجام فرآیند آبگیری اسمزی در دماهای بالا موجب تغییر در نفوذپذیری دیواره سلولی می‌شود. زیرا که با افزایش دمای خشک‌کن به علت تغییراتی که در غشا به وجود می‌آید، میزان خروج آب بیشتر می‌شود و این در حالی است که دیگر ماده جامدی به بافت نمونه نفوذ نمی‌کند زیرا که عملیات خشک کردن پس از اتمام آبگیری اسمزی انجام می‌شود، بنابراین میزان WL/SG افزایش می‌یابد.

- تعیین شرایط بهینه

بهینه‌سازی فرآیند در شرایط تحت بررسی با هدف کمیته‌نمودن تغییرات رنگ و بیشینه نمودن نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده به با استفاده از روش سطح پاسخ انجام و شرایط بهینه شامل دمای محلول اسمزی ۳۵ درجه سلسیوس، غلظت محلول اسمزی ۶۰ درصد وزنی/ وزنی، فشار ۲۴۰ میلی‌بار، زمان تماس محصول با محلول اسمزی ۱۸۰ دقیقه و دمای خشک‌کردن تکمیلی ۴۱/۵ درجه سلسیوس بدست آمد.

نتیجه‌گیری

روش سطح پاسخ با بکارگیری طرح مرکب مرکزی، جهت بررسی اثرات متغیرهای غلظت محلول اسمزی، دمای محلول، زمان تماس محصول با محلول اسمزی، کاهش فشار در ابتدای فرآیند و دمای خشک‌کردن، بر روی میزان تغییرات رنگ و نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده در برش‌های پرتقال و بهینه‌سازی فرآیند با هدف بیشینه‌کردن نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده و کمیته‌کردن میزان تغییرات رنگ، بکاربرده شد. متغیرهای دمای محلول اسمزی و دمای خشک‌کردن اثرات معنی‌داری (در سطح $p \leq 0.01$) بر میزان تغییرات رنگ و نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده را نشان می‌دهند، به گونه‌ای که با افزایش دما در هر دو مرحله آب‌گیری اسمزی و خشک‌کردن تکمیلی، میزان تغییرات رنگ در فرآورده نهایی و نسبت خروج آب به نفوذ مواد حل شده افزایش می‌یابد.

محلول اسمزی هر دو جز صورت و مخرج را به صورت مستقل افزایش می‌دهد با این وجود روند افزایش WL به نسبت SG در شرایط این تحقیق بیشتر بوده و در نتیجه کسر حاصل روندی افزایشی یافته است. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که با افزایش غلظت محلول اسمزی، فشار اسمزی و اختلاف غلظت بین برش‌های پرتقال و محلول اسمزی افزایش می‌یابد. محققان پیشین اختلاف فشار اسمزی را نیروی محرکه انتقال جرم برای حذف رطوبت و اختلاف غلظت را نیروی محرکه انتقال جرم برای جذب عامل و یا عوامل اسمزی اعلام کردند. به این ترتیب با افزایش غلظت محلول اسمزی، هم‌زمان با حذف رطوبت از برش‌های پرتقال، مقدار ماده حل شده بیشتری به درون بافت نمونه نفوذ می‌کند (Rostogi and Corzoa and Brachob, 2007; Rahimzade; Raghavaro, 2004; Hesari, 2007). همچنین مشاهده می‌شود که کاهش فشار به صورت ناپیوسته در طی فرآیند آبگیری اسمزی می‌تواند باعث افزایش سرعت انتقال جرم (خروج آب از ماده غذایی و نفوذ ماده جامد به داخل آن) در مواد غذایی با ساختار متخلخل گردد. روش کاهش فشار به صورت ناپیوسته به این صورت است که در بافت متخلخل مواد غذایی فضای بین سلولی وجود دارد که در حالت عادی و فشار اتمسفری این فضاهای بین سلولی با فاز گازی یا مایع طبیعی اشغال شده‌اند. در هنگام کاهش فشار در آبگیری اسمزی، به دلیل افت فشار، گازهای موجود در فضاهای بین سلولی منبسط و از داخل منافذ بافت محصول خارج می‌شوند. هنگامی که فشار سیستم به فشار محیطی باز می‌گردد، گازهای باقیمانده در فضاهای بین سلولی منقبض می‌شوند و حجم کمی را اشغال می‌کنند. لذا محلول اسمزی به داخل فضاهای بین سلولی محصول جریان می‌یابد. حضور محلول اسمزی در فضاهای بین سلولی باعث افزایش سطح تماس غشا سلولی و محلول اسمزی می‌شود و سرعت انتقال جرم را در فرآیند آبگیری اسمزی افزایش می‌دهد (Fernandez & Fito et al., 2001; Lemaguer, 2004). افزایش دمای خشک‌کردن و افزایش زمان تماس محصول با محلول اسمزی، موجب افزایش نسبت WL/SG می‌گردند. دلیل این امر آن است که با افزایش زمان تماس، میزان بیشتری آب از نمونه خارج شده و وارد محلول می‌گردد و

characteristic of banana fruit. *International Journal of Food Engineering*, 28(2), 269-273.

Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B. & Marinos-Kouris, D. (2000). Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. *Drying Technology*, 18, 937-950.

Lenart A. & Debrowska R. (2001). Influence of edible coating on osmotic treatment of apple. Technomic publishing company, Inc., Pennsylvania, 43-49.

Maltini, E., Torreggiani, D., Rondo Broveto, B. & Bertolo, G. (1993). Functional properties of reduced moisture fruits as ingredients in food systems. *Food Research International* 26, 413-419.

Martinez-Valencia, B., AbuArchila, M., Cabrera, A. & Lagunes, A. (2011). Pulsed vacuum osmotic dehydration kinetics of melon (*Cucumis melo L.*) var. cantaloupe. *African journal of agricultural research*, 6(15), 3588-3596.

Ozdemir, M., Ozen, B. F., Dock, L. L. & Floros, J. D. (2008). Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology, *Food science and technology X*:1-7.

Rahimzadeh Khoiyi, M. & Hesari, J. (2007). Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering* 78, 1355-1360.

Roastogi, N. K. & Raghavarao, S. K. M. S. (1996). Kinetics of osmotic dehydration under vacuum. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technology* 29, 669-672.

Rastogi, N. K. & Raghavaro, K. S. M. S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Lebensm.-Wiss.u.-Technology* 37, 43-47.

Shukla, B. D. & Singh, S. P. (2007). Osmo-convective drying of cauliflower, mushroom and greenpea. *Journal of food Engineering*, 80, 741-747.

Singh, B., Kumar, A. & Gupta, A. K. (2005). Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes, *Journal of food Engineering*, 79(2), 471-480.

Torringa, E., Esveld, E., Scheewe, I., Berg, R. & Bartels, P. (2001). Osmotic dehydration as a pre-treatment before microwave drying of mushrooms, *Journal of food Engineering*, 49, 185-191.

شرایط بهینه به دست آمده شامل دمای محلول اسمزی (۳۵ درجه سلسیوس)، غلظت محلول (۶۰ درصد، وزنی/وزنی)، زمان تماس محصول با محلول اسمزی (۱۸۰ دقیقه)، دمای خشک کردن (۴۱/۵ درجه سلسیوس) و فشار (۲۴۰ میلی بار) می باشد.

سپاسگزاری

مجریان طرح نهایت تشکر را از سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران به دلیل در اختیار نهادن امکانات آزمایشگاهی دارند.

منابع

امام جمعه، ز. و علالدینی، ب. (۱۳۸۴). بهبود شاخص های کیفی کیوی خشک شده و فرمولاسیون آن با استفاده از پیش فرآیند اسمزی. *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۳۶ (۶)، ۱۴۲۱-۱۴۲۷.

AOAC. (1984). Official methods of analysis. 14th ed. Association of official analytical chemists, Washington DC, USA.

Corzoa, O. & Brachob, N. (2007). Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. *LWT*, 40, 1452-1458.

Ertekin, F. & Sultanolu, M. (2000). Modeling of mass transfer during osmotic dehydration of apples, *Journal of food Engineering*, 46 (4), 243-250.

Fernandez, C. M. O. & Lemguer, M. (2004). Development of method of classify mass transfer behavior of plant tissues during osmotic dehydration. *transaction of Institute of chemical Engineering part C-Food and bio product processing*, 82 (C1), 49-53.

Fito, P., Chiralt, A., Barat, J. M., Andres, A., Matinez-Manzo, J. & Martinez-Navarrete, N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering* 99:297-302.

Gras, M., Vidal-Brotons, D., Betoret, N., Chiralt, A. & Fito, P. (2002). The response of some vegetables to vacuum impregnation. *Journal of Innovation Food Science & Emerging Technologies*, 3, 263-268.

Jalali, V., Narain, N., & Silva, G. F. (2008). Effect of osmotic predehydration on drying

Torreggiani, D. & Bertolo, G. (2001).
Osmotic pretreatments in fruit processing:

Chemical, physical & structural effects.
Journal of Food Engineering, 49, 247-253..

jstnar.srbiau.ac.ir