

بهینه‌سازی خشک کردن خلال‌های سیب‌زمینی با استفاده از پیش‌ تیمار اُسمزی و روش سطح

پاسخ

ناهید جعفری¹ - سید حمیدرضا ضیاءالحق^{2*} - عبدالرضا محمدی نافچی³

تاریخ دریافت: 1397/02/06

تاریخ پذیرش: 1397/10/09

چکیده

در این تحقیق، تأثیر پیش‌ تیمار اُسمزی بر ویژگی‌های کیفی و خصوصیات حسی خلال‌های سیب‌زمینی خشک‌شده مورد بررسی قرار گرفت. محتوای رطوبت، ظرفیت بازجذب آب، چروکیدگی، قهوه‌ای شدن، شاخص‌های رنگی و خصوصیات حسی (طعم، رنگ، شکل‌ظاهری، استحکام و پذیرش کلی) نمونه‌های سیب‌زمینی پس از فرآیند خشک کردن ارزیابی شده و از روش سطح‌پاسخ (RSM) جهت تعیین شرایط بهینه پیش‌ تیمارهای آبیگری اُسمزی، با هدف بالاترین امتیازات خواص فیزیکی‌وشیمیایی و حسی، استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان پیش‌ تیمار اُسمزی، محتوای رطوبت، قهوه‌ای شدن و امتیازطعم به تدریج افزایش یافت، در حالی که بازجذب آب کاهش پیدا کرد ($p < 0.05$). زمان پیش‌ تیمار اُسمزی اثر معنی‌داری بر شاخص‌های رنگی نمونه‌های سیب‌زمینی نداشت ($p > 0.05$). با افزایش غلظت محلول اُسمزی، میزان رطوبت، چروکیدگی، بازجذب آب، قهوه‌ای شدن و شاخص زردی (b^*) کاهش یافت ($p < 0.05$). با افزایش دمای محلول اُسمزی میزان چروکیدگی، روشنایی و امتیاز طعم نمونه‌ها افزایش و میزان قرمزی و تغییر رنگ کلی خلال‌های سیب‌زمینی کاهش یافت ($p < 0.05$). نتایج ارزیابی حسی نشان داد که تغییرات غلظت، زمان و درجه‌حرارت محلول اُسمزی، به جز در مورد امتیاز طعم، اثر معنی‌داری بر خصوصیات حسی خلال‌های سیب‌زمینی نداشت ($p > 0.05$). بر طبق نتایج حاصل از بهینه‌سازی توسط روش سطح‌پاسخ می‌توان، غلظت 2 درصد، دمای 46 درجه سانتی‌گراد و زمان 173 دقیقه را برای پیش‌ تیمار اُسمزی به‌عنوان شرایط مطلوب معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌ تیمار اُسمزی، خشک کردن، فرآورده‌های سیب‌زمینی، روش سطح پاسخ

مقدمه

آبیگری اُسمزی، موادغذایی در یک محلول نمکی یا قندی غوطه‌ور می‌شوند (Pandharipande et al, 2012).

تبادلات جرمی بین محلول اُسمزی و ماده‌غذایی بازده نهایی و کیفیت محصول آبیگری‌شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shi, 2008). آبیگری اُسمزی یک فرآیند نسبتاً ساده و اقتصادی است که موجب بهبود بافت و خصوصیت جذب مجدد آب می‌شود و با جلوگیری از فعالیت پلی‌فنل‌اکسیدازها از قهوه‌ای شدن آنزیمی جلوگیری می‌کند. در این فرآیند، اسید حذف شده و قند جذب می‌گردد، در نتیجه ترکیب میوه‌ها اصلاح شده و مزه و قابلیت‌پذیرش بهبود می‌یابد. این فرآیند از متلاشی‌شدن ساختار محصول طی خشک کردن بعدی جلوگیری کرده و به حفظ شکل محصولات خشک‌شده کمک می‌نماید (Chavan and Amarowicz, 2012). از روش آبیگری اُسمزی برای خشک کردن محصولات مختلف مثل هویج (Singh et al., 2006)، انبه

سیب‌زمینی چهارمین محصول کشاورزی مهم، بعد از برنج، گندم و ذرت است. سیب‌زمینی در مقایسه با سایر غلات، در هر واحد سطح خود، وزن خشک، پروتئین و مواد معدنی بیشتری تولید می‌نماید. همچنین سیب‌زمینی منبعی غنی برای نشاسته است (Friedman, 1997). بسیاری از ترکیبات موجود در سیب‌زمینی دارای اثرات مفیدی بر سلامت هستند. از این رو، این محصول گیاهی برای مصرف در رژیم غذایی انسان بسیار مناسب می‌باشد (Katan and De Roos, 2004). آبیگری اُسمزی برای حذف بخشی از آب موادغذایی مانند میوه‌ها و سبزیجات، از طریق غوطه‌وری در محلول‌های آبی دارای فشار اُسمزی بالا مانند قندها و نمک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در

3- دانشیار، گروه مهندسی شیمی و مواد غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان، ایران.

* - نویسنده مسئول: (Email: hziaolhagh@gmail.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v15i2.72319

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.

2- استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

مواد و روش‌ها

رقم سیب‌زمینی مورد استفاده در این پژوهش آگریا بود که از بازار محلی تهیه گردید و بلافاصله برای تولید نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کلرید سدیم از شرکت تابا و روغن مورد استفاده برای سرخ کردن سیب‌زمینی‌ها از نوع روغن مخصوص سرخ کردنی تهیه شد. مواد شیمیایی مورد استفاده برای آزمون‌ها (اسید استیک و فرم‌آلدئید) نیز از شرکت دایجونگ کره خریداری شدند.

سیب‌زمینی‌های رقم آگریا پس از شستشوی کامل، پوست کنده شده و با استفاده از دستگاه خلال‌کن خانگی نوع دایسر - مایسر به قطعاتی با اندازه $3/5 \times 0/5 \times 0/5$ سانتی‌متر برش داده شدند. تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل پارامترهای غلظت محلول اسمزی (در سه سطح صفر، 10 و 20 درصد کلرید سدیم)، دمای محلول اسمزی (در سه سطح 30، 45 و 60 درجه سانتی‌گراد) و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی (در سه سطح 60، 240 و 720 دقیقه) بودند. مقدار حداقل و حداکثر سطوح تیمارهای مختلف با توجه به آزمایشات اولیه و بررسی منابع انتخاب شدند (محمدی و محمدپور، 1395؛ سلیمانی و همکاران، 1390؛ Changrue و همکاران، 2006؛ Kumar و Gani، 2013). نسبت قطعات سیب‌زمینی به محلول اسمزی در کل آزمایش‌ها 1 به 6 ثابت بود. مقدار حداقل و حداکثر غلظت و زمان غوطه‌وری به نرم‌افزار Design Expert 8.0.7.1 داده شده و بر اساس آن، تعداد 20 نمونه با 6 تکرار در نقطه مرکزی به شرح جدول 1 به دست آمد. پس از اعمال پیش تیمار اسمزی، نمونه‌ها در داخل آون (شیمازو، ژاپن) با دمای 60 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای $1/5$ m/s تا رسیدن به رطوبت بین 8 تا 10 درصد خشک شدند (Fernandez و همکاران، 2006) و تا زمان انجام آزمایشات (حدود دو هفته) در پاکت‌های از جنس BOPP¹ بسته‌بندی شده و در دمای محیط نگهداری شدند.

آزمون‌ها

محتوای رطوبت

جهت اندازه‌گیری رطوبت نهایی نمونه‌های سیب‌زمینی خشک شده، حدود 5 گرم از نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال (Sartorius) با دقت $0/001$ وزن شده و در آون (شیمازو، ژاپن) با دمای 100 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. هر نیم ساعت یکبار، نمونه‌ها از آون خارج شده و پس از سرد شدن در دسیکاتور، توزین شده و مجدداً در آون قرار داده شدند. این کار تا زمانی انجام گرفت، که وزن نمونه‌ها در دو توزین متوالی یکسان باقی ماند. محتوای رطوبت نمونه‌های سیب‌زمینی، بر حسب درصد، از طریق رابطه 1 محاسبه گردید (AOAC, 1995).

(Ananas (Tiwari and Jalali, 2004; Alakali *et al.*, 2006)، (Piotrowski *et al.*, 2004)، (Rahman and Lamb, 1990)، توت فرنگی (Matuszek *et al.*, 2004)، موز (Pandharipande *et al.*, 2012)، سیب (Ispir and Togrul, 2009) و بسیاری از میوه‌های دیگر استفاده شده است.

سلیمانی و همکاران (1390)، از پیش تیمار آبیگری اسمزی برای خشک کردن هویج با هوای گرم استفاده نمودند. برای تعیین شرایط بهینه آبیگری اسمزی، تاثیر عوامل دما، زمان، تغییرات غلظت محلول، میزان کلرید سدیم و شربت گلوکز ورودی به داخل بافت هویج مورد بررسی قرار گرفت. عمل اسمزی در دمای 40 درجه سانتی‌گراد به مدت 240 دقیقه، بهترین نتیجه را از نظر میزان آبیگری و مواد جامد محلول نشان داد. نتایج نشان داد که غلظت 50 درصد شربت گلوکز به علاوه غلظت 5 درصد نمک طعام بهترین غلظت از لحاظ آبیگری و میزان ماده ورودی به بافت می‌باشد. محمدی و محمدپور (1395) جهت خشک کردن اسمزی سیب‌زمینی از محلول کلرید سدیم 15 درصد و مخلوط 10 وزنی نمک و 35 درصد وزنی شکر در سه دمای 35، 45 و 55 درجه سانتی‌گراد استفاده کردند و نشان دادند که با افزایش دما میزان از دست دادن آب افزایش می‌یابد، ضمن این که برای محلول شکر - نمک میزان از دست دادن آب بیشتر از محلول حاوی نمک به تنهایی بود. آن‌ها دمای مناسب برای محلول اسمزی را دمای 45 درجه سانتی‌گراد و زمان مناسب را در محدوده 100 تا 120 دقیقه معرفی کردند.

Wang و همکاران (2010) اثر خشک کردن اسمزی بر کیفیت چیپس سیب‌زمینی خشک شده با مایکروویو را بررسی کردند. آن‌ها از غلظت‌های 5، 10 و 15 درصد نمک طعام و 30، 40 و 50 درصد ساکارز در دمای 20 درجه سانتی‌گراد به مدت 6 ساعت استفاده کردند و نشان دادند که کیفیت چیپس‌های پیش تیمار شده با غلظت 5 درصد نمک طعام بهبود می‌یابد.

به دلیل مزیت‌های گفته شده در استفاده از روش آبیگری اسمزی، در این تحقیق ما بر آن شدیم که کیفیت خلال‌های خشک سیب‌زمینی با کمک پیش تیمار اسمزی را مورد بررسی قرار دهیم. در تحقیقات قبلی از فرآیند اسمز برای تولید فرآورده‌های نیمه خشک سیب‌زمینی استفاده شده است؛ در حالی که هدف از انجام تحقیق جاری، بررسی اثر فرآیند اسمزی به‌عنوان یک پیش تیمار قبل از خشک شدن با هوای داغ، در بهبود بافت و کیفیت با جذب آب، و همچنین بهبود طعم و رنگ خلال‌های سیب‌زمینی پس از خشک شدن با جریان هوای داغ می‌باشد.

b^* تشکیل شده است. مولفه L^* معادل روشنایی تصویر است که بین صفر معادل مشکی و 100 معادل انعکاس کامل نور تغییر می‌کند. مولفه a^* بین 120- تا 120 تغییر می‌کند و مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز است. مقادیر b^* بین 120- تا 120 تغییر می‌کند و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی است (Tkalcic & Tasic, 2006). با استفاده از پلاگین color space converter تحت نرم‌افزار ImageJ نسخه 1/04، تصاویر از فضای رنگی RGB به $L^*a^*b^*$ تبدیل گردید. پس از تبدیل تصویر به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ ، با انتخاب محدوده مربوط به تصویر سیب‌زمینی، محاسبه و میانگین برای هر مولفه صورت گرفت. برای محاسبه میانگین تغییرات رنگ (E) در طی فرآیند خشک کردن، از رابطه 4 استفاده شد (Fathi et al., 2011).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (4)$$

ارزیابی حسی

جهت ارزیابی حسی، نمونه‌های سیب‌زمینی پس از بازجذب آب در روغن داغ به مدت تقریبی 5 دقیقه تا طلایی شدن رنگ سیب‌زمینی‌ها سرخ شدند. ارزیابی حسی نمونه‌های سیب‌زمینی خشک‌شده، با استفاده از سیستم هدونیک پنج نقطه‌ای صورت گرفت. بدین منظور از 15 ارزیاب حسی آموزش ندیده شامل 5 زن و 10 مرد با میانگین سنی بین 25 تا 35 سال استفاده شد و از آن‌ها خواسته شد تا نمونه‌ها را از بسیار بد (1) تا بسیار خوب (5) ارزیابی کنند و بر این اساس به آن‌ها امتیاز دهند. ویژگی‌های حسی مورد بررسی در این تحقیق، شامل رنگ، شکل ظاهری، سفتی، طعم و پذیرش کلی بودند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج حاصل از هر دو مرحله اول و دوم با استفاده از طرح آماری فاکتوریل کامل در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) در روش سطح پاسخ آنالیز شدند. سپس عمل بهینه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Design expert 8.0.7.1 برای هر مرحله انجام شد. در این طرح مقادیر منفی و مثبت آلفا (-1 و +1) برای غلظت محلول اسمزی به ترتیب صفر و 20 درصد، برای زمان غوطه‌وری 60 و 420 دقیقه و برای دمای محلول اسمزی 30 و 60 درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

نتایج و بحث

محتوای رطوبت

نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که زمان آبیگری اسمزی و تغییرات غلظت محلول اسمزی، از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر محتوای رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی داشتند ($p < 0.05$)، ولی تأثیر دما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$).

$$(1) \quad \text{درصد رطوبت} = \frac{M1 - M2}{M0} * 100$$

که در آن $M1$ ، وزن ظرف و نمونه قبل از خشک کردن (بر حسب گرم)، $M2$ ، وزن ظرف و نمونه بعد از خشک کردن (بر حسب گرم) و $M0$ ، وزن نمونه اولیه (بر حسب گرم) می‌باشند.

میزان بازجذب آب

برای اندازه‌گیری میزان درصد جذب آب، 4 تا 5 گرم از نمونه برداشته شده و در داخل آب مقطر به یک نسبت 5 تا 10 برابر، ریخته شد. هر نیم ساعت یکبار، نمونه‌ها خارج شده و با کاغذ جذب، آب آن‌ها گرفته شد و توزین گردید، تا زمانی که به وزن ثابت رسید. میزان بازجذب آب نمونه‌ها، با استفاده از رابطه 2 محاسبه شده و بر حسب درصد بیان گردید (Raoult-wack, 1994).

$$(2)$$

$$100 * \frac{\text{وزن خشک نمونه بعد از اسمز} - \text{وزن نمونه بعد از آبیگری}}{\text{وزن نمونه بعد از آبیگری}} = \text{میزان مجدد آبیگری}$$

میزان چروکیدگی

برای تعیین میزان چروکیدگی از تغییر حجم استفاده شد. به این صورت که از هر نمونه 4 تا 5 خلال داخل استوانه مدرج حاوی مقدار مشخصی تولوئن قرار داده شده و با توجه به تغییر حجم ایجاد شده، حجم خلال‌ها تعیین گردید. سپس با استفاده از رابطه 3، درصد چروکیدگی محاسبه شد (Shakouri et al., 2015):

$$(3) \quad Sh (\%) = \left(1 - \frac{Vt}{V0}\right) * 100$$

که در آن Sh ، چروکیدگی بر حسب درصد، Vt ، حجم در پایان فرآیند خشک کردن بر حسب سانتی‌متر مکعب و $V0$ ، حجم اولیه نمونه بر حسب سانتی‌متر مکعب می‌باشند.

قهوه‌ای شدن بافت

جهت اندازه‌گیری میزان قهوه‌ای شدن، ابتدا 2/5 گرم از نمونه با 25 میلی لیتر محلول آبی اسیداستیک - فرم‌آلدئید (نسبت حجمی 2 به 1) مخلوط شده و به مدت 72 ساعت نگهداری گردید، تا رنگ آن‌ها استخراج شود. سپس میزان جذب نمونه‌های با استفاده از اسپکتروفتومتر (Jenway 6305) در طول موج 420 و 600 نانومتر اندازه‌گیری شد و اختلاف جذب در این دو طول موج، به عنوان شاخص قهوه‌ای شدن در نظر گرفته شد (Ziaolhagh, 1999).

تعیین شاخص‌های رنگی

تصویرگیری از نمونه‌های سیب‌زمینی پس از مرحله خشک کردن نهایی، با استفاده از اسکنر مسطح (HP Scanjet 4010) انجام شد و تصاویر گرفته شده در فرمت JPEG و رزولوشن 200 dpi بدون فشرده‌گی ذخیره شدند. فضای رنگی $L^*a^*b^*$ از سه مولفه L^* ، a^* و

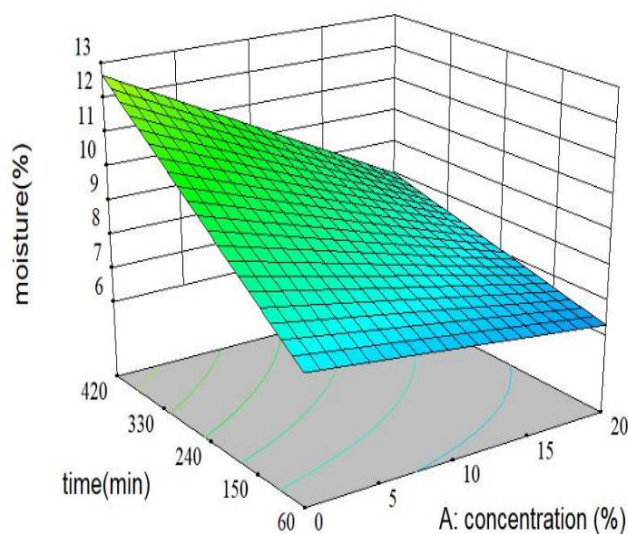
تحقیق جاری اثر متقابل غلظت و زمان مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که غلظت محلول اسمزی می‌تواند بر میزان از دست دادن رطوبت محصول در طی زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی تأثیر داشته باشد.

با کاهش غلظت محلول اسمزی به مرور میزان خروج آب از محصول به درون محلول اسمزی نسبت به غلظت‌های بالاتر محلول اسمزی کاهش می‌یابد و محصول پس از پیش تیمار اسمزی که برای خشک کردن استفاده می‌شود مقدار رطوبت بیشتری داشته و لذا محتوای رطوبت محصول خشک نهایی نیز بیشتر می‌باشد (Torres *et al*, 2012).

تأثیر متغیرهای مستقل (غلظت و زمان غوطه‌وری) بر محتوای رطوبت نمونه‌های سیب‌زمینی در شکل 1 نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان آبیگری و کاهش غلظت محلول اسمزی، محتوای رطوبت نمونه‌های سیب‌زمینی خشک شده افزایش یافت، با این حال تأثیر زمان بر سرعت افزایش محتوای رطوبت، بیشتر از غلظت بود. محمدی و محمدپور (1395) بر خلاف نتایج ما نشان دادند که با افزایش زمان آبیگری اسمزی میزان از دست رفتن آب از سیب‌زمینی افزایش می‌یابد. این اختلاف به این علت است که آن‌ها در بررسی خود از مخلوط ساکارز و نمک استفاده کرده و اثر مستقل زمان بر میزان از دست دادن آب را بررسی کرده اند؛ در حالی که در

جدول 1- تیمارهای مورد بررسی و پاسخ‌های به دست آمده

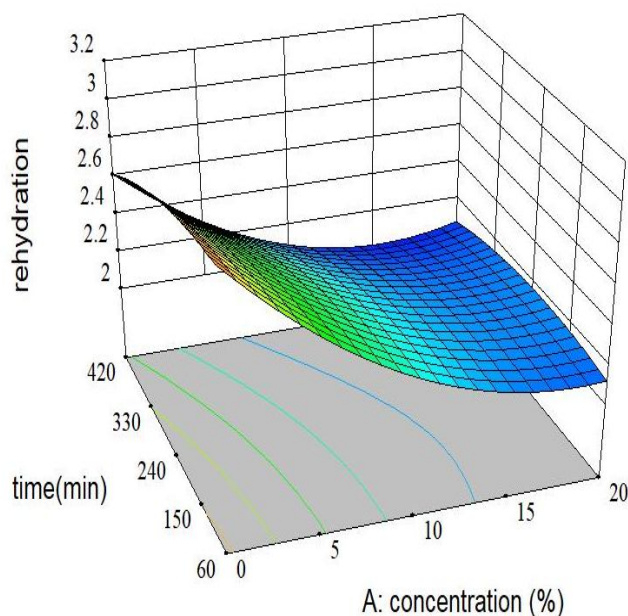
E*	b*	a*	L*	شاخص قهوه‌ای شدن	چروکیدگی (%)	باز جذب آب (%)	رطوبت (%)	دما	زمان	غلظت محلول	نمونه
13/06	37/45	3/69	44/14	0/200	2/73	79/47	8/86	60	420	0	1
11/59	27/12	-1/33	51/92	0/140	2/25	56/67	8/59	45	240	10	2
23/31	28/78	-1/01	49/87	0/180	2/24	61/41	8/59	45	240	10	3
19/67	32/53	-0/51	45/41	0/115	2/22	42/48	8/60	60	420	20	4
11/74	26/74	-3/03	52/86	0/133	2/41	58/65	8/18	45	240	20	5
41/04	42/52	-3/39	43/23	0/400	3/17	77/16	8/94	30	60	0	6
7/90	32/64	-1/69	50/84	0/141	2/21	65/65	8/59	45	240	10	7
33/53	42/43	2/08	43/33	0/123	2/70	71/50	8/59	60	240	10	8
45/57	38/35	-1/07	48/60	0/148	2/44	49/51	8/84	45	60	10	9
16/59	33/74	3/41	39/95	0/127	2/12	73/42	8/50	30	420	20	10
11/40	28/86	-1/67	47/50	0/141	1/99	62/06	8/59	45	240	10	11
36/66	37/21	2/32	41/92	0/337	2/83	77/84	8/44	30	420	0	12
10/94	37/89	2/97	44/61	0/283	3/22	71/25	8/81	60	60	0	13
29/48	36/86	1/75	45/50	0/220	2/11	52/66	8/07	60	60	20	14
8/89	34/61	-1/04	51/26	0/132	2/29	54/79	8/59	45	240	10	15
23/27	23/98	-1/68	49/14	0/080	2/21	70/64	9/35	45	420	10	16
12/98	38/75	-1/65	48/43	0/350	2/91	75/85	8/01	45	240	0	17
16/26	31/53	3/21	39/51	0/177	2/34	72/52	8/53	30	60	20	18
13/73	29/50	-1/73	48/13	0/084	2/14	53/75	8/59	45	240	10	19
34/28	35/02	3/16	40/07	0/050	2/42	70/47	8/60	30	240	10	20



شکل 1- اثر زمان (دقیقه) و غلظت محلول اسمزی (درصد) بر محتوای رطوبت (درصد) خلال‌های سیب‌زمینی، دمای محلول اسمزی 45 درجه سانتی‌گراد

بازجذب آب
تغییرات غلظت محلول اسمزی از لحاظ آماری معنی‌دار بود
($p < 0.05$).

نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که زمان غوطه‌وری و دمای محلول اسمزی، از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر میزان



شکل 2- اثر زمان (دقیقه) و غلظت محلول اسمزی (درصد) بر میزان بازجذب آب (درصد) خلال‌های سیب‌زمینی، دمای محلول اسمزی 45 درجه سانتی‌گراد

ملایم کاهش یافت، با این حال تأثیر زمان بر میزان بازجذب آب نمونه‌ها قابل توجه نبود. کاهش بازجذب آب نمونه‌ها در اثر افزایش غلظت

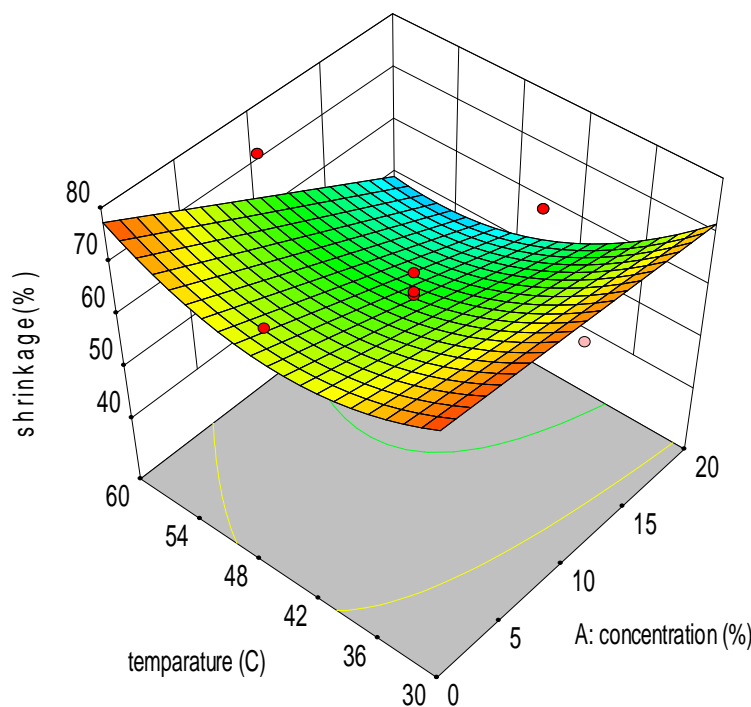
همان‌طوری که در شکل 2 ملاحظه می‌گردد، با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان بازجذب آب نمونه‌های سیب‌زمینی با شیب

یکی از مهم‌ترین تغییرات فیزیکی که در زمان خشک‌کردن مواد غذایی همراه با نفوذ رطوبت به خارج از ماده غذایی رخ می‌دهد، کاهش حجم پوسته خارجی یا چروکیدگی است. انتقال همزمان جرم و حرارت در هنگام خشک‌شدن مواد غذایی، تنش‌هایی در ساختار سلولی مواد غذایی ایجاد می‌کند که منجر به تغییر شکل و چروکیدگی می‌شود (Koc *et al.*, 2008). بافت ماده غذایی به دلیل تبخیر آب موجود در داخل ماده غذایی و پرشدن فضای خالی توسط هوا، توانایی حفظ ساختار شبکه مواد جامد را نداشته و باعث چروکیدگی می‌شود. علاوه بر این، ساختار بیرونی فروریخته و منجر به کاهش حجم پوسته خارجی یا چروکیدگی می‌گردد (Panyawong & Devahastin, 2007). چروکیدگی محصول از عیوب مهم حین خشک‌شدن مواد غذایی با استفاده از جریان هوای داغ محسوب شده و باعث افت خصوصیات کمی و کیفی محصول خشک‌شده می‌شود. در نتیجه، اگر بتوان محصولی متخلخل و با چروکیدگی کمتر تولید کرد، بافت محصول اصلاح شده و جذب آب در طی فرآیند بازجذب آب افزایش می‌یابد (Figiel, 2010). در تحقیق جاری با افزایش غلظت محلول اسمزی، آب بیشتری از محصول خارج می‌شود و لذا محصول پس از پیش تیمار اسمزی آب کمتری خواهد داشت و در حین خشک کردن در هوای داغ به دلیل کمتر بودن حرکت آب در داخل محصول کمتر دچار چروکیدگی شده است.

محلول اسمزی، احتمالاً به دلیل جذب مواد جامد در طی فرآیند اسمز می‌باشد، که همین امر بر روی نفوذپذیری سلول‌ها تأثیر می‌گذارد و در نتیجه میزان بازجذب آب توسط نمونه‌ها کاهش می‌یابد (Singh *et al.*, 2006). Karathanos و Rastogi (2005) و همکاران (2004) نیز نشان دادند که فرآیند آبیگری اسمزی، تأثیر منفی بر بازجذب آب دارد و دلیل آن را اشباع شدن سریع لایه زیرین سطح بافت ماده غذایی با ماده قندی و آبیگری کمتر لایه قندی در مقایسه با بافت طبیعی ماده غذایی عنوان کردند.

میزان چروکیدگی

اثر متقابل دما و تغییرات غلظت محلول اسمزی، از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر میزان چروکیدگی خلال‌های سیب‌زمینی داشتند ($p < 0.05$)، ولی تأثیر زمان از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). با توجه به شکل 3 مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان چروکیدگی نمونه‌های سیب‌زمینی کاهش یافته است. افزایش زمان آبیگری اسمزی، موجب افزایش میزان چروکیدگی نمونه‌ها شد، ولی همان‌طوری که بیان شد، این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$).

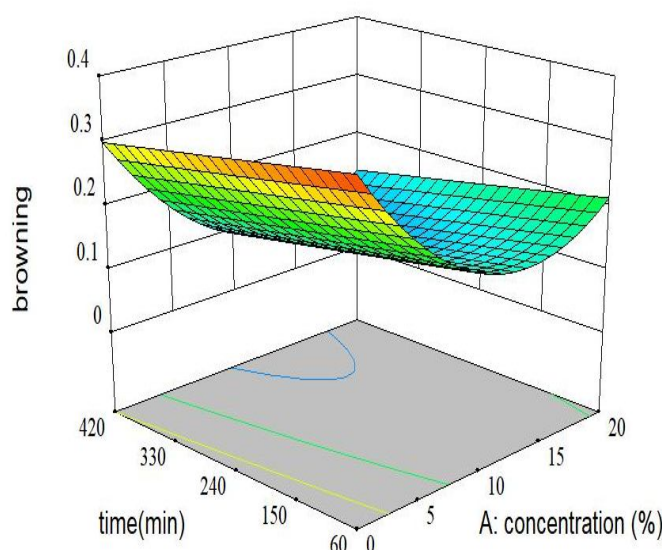


شکل 3- اثر دما (درجه سانتی‌گراد) و غلظت محلول اسمزی (درصد) بر میزان چروکیدگی (درصد) خلال‌های سیب‌زمینی، زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی 240 دقیقه

شدن آنزیمی و غیر آنزیمی می‌باشد. در غلظت‌های خیلی پایین محلول اسمزی، میزان قهوه‌ای شدن به علت انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی بالاست. به تدریج با افزایش غلظت، به دلیل اثر بازدارندگی محلول اسمزی (کلرید سدیم) بر آنزیم‌های عامل قهوه‌ای شدن از شدت واکنش‌های قهوه‌ای شدن کاسته می‌شود، ولی با افزایش بیشتر غلظت محلول اسمزی آب بیشتری از محصول خارج می‌شود و به همین دلیل در حین خشک کردن با هوای داغ اثر حرارت بر محصول بیشتر بوده و واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی بیشتر صورت گرفته‌اند و به همین دلیل شاخص قهوه‌ای شدن در این نمونه‌ها بیشتر بوده است (Krokida et al., 2000).

قهوه‌ای شدن

نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که زمان آبیگری اسمزی و تغییرات غلظت محلول اسمزی، از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر میزان شاخص قهوه‌ای شدن خلال‌های سیب‌زمینی داشتند ($p < 0.05$)، ولی تأثیر دما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). همان‌طوری که در شکل 4 مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌های سیب‌زمینی در ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. افزایش زمان غوطه‌وری، موجب افزایش خطی میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌ها شد. افزایش شاخص قهوه‌ای شدن در اثر افزایش زمان خشک کردن، به دلیل تولید بیشتر پیگمان‌های قهوه‌ای در اثر واکنش‌های قهوه‌ای



شکل 4- اثر زمان (دقیقه) و غلظت محلول اسمزی (درصد) بر میزان شاخص قهوه‌ای شدن خلال‌های سیب‌زمینی، دمای محلول اسمزی 45 درجه سانتی‌گراد

قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی به تدریج افزایش یافته و با تیره‌تر شدن رنگ، شاخص L^* کاهش می‌یابد.

در مورد زردی (b^*) نیز نتایج نشان داد که تغییرات غلظت محلول اسمزی، از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر میزان زردی رنگ خلال‌های سیب‌زمینی داشت ($p < 0.05$)، ولی تأثیر دما و زمان از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). همان‌طوری که در شکل 5- ب مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول اسمزی، شدت زردی رنگ نمونه‌های سیب‌زمینی به صورت خطی کاهش یافت.

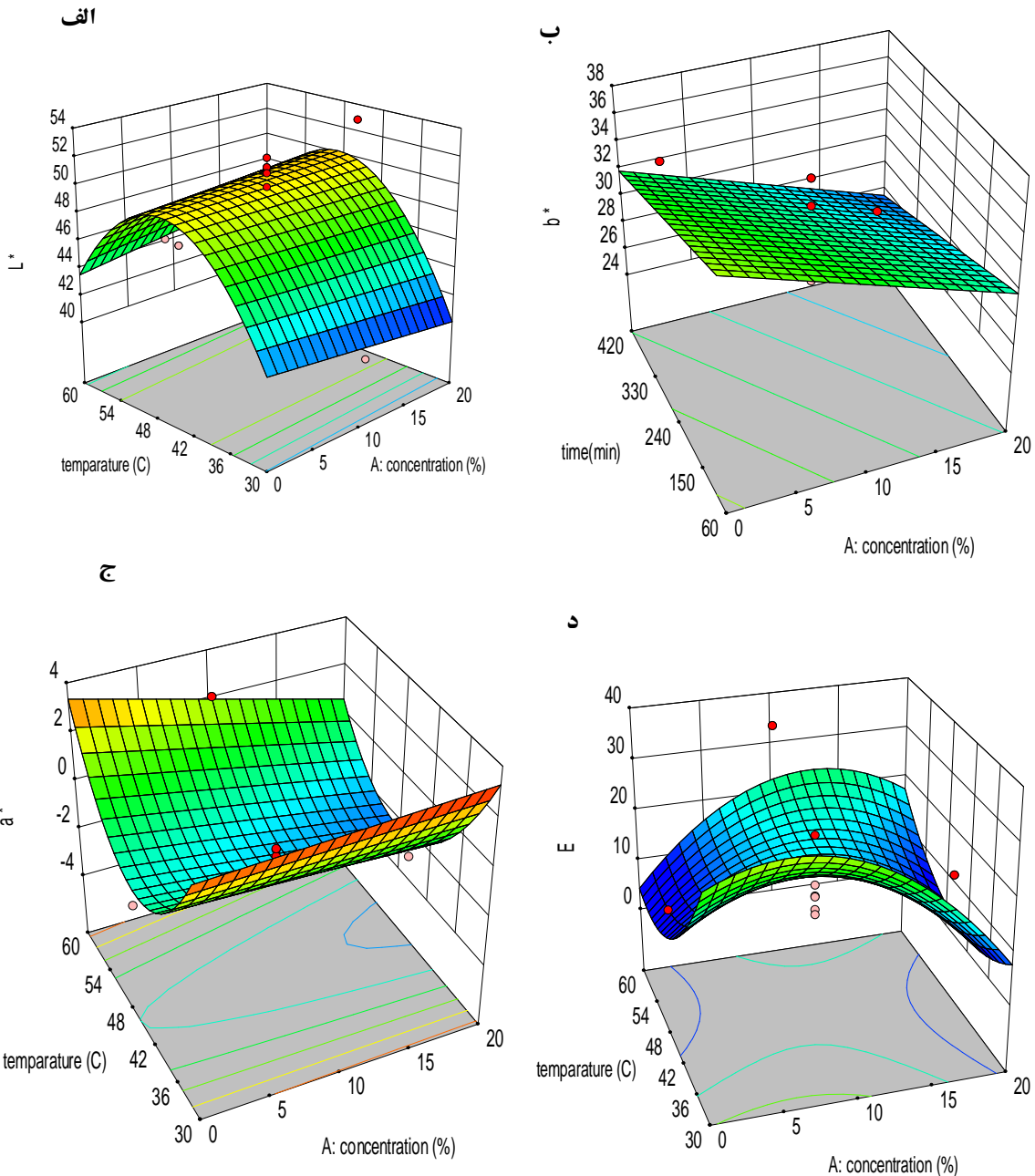
نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که دما و تغییرات غلظت محلول اسمزی، از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر میزان قرمزی (a^*) رنگ خلال‌های سیب‌زمینی داشتند ($p < 0.05$)، ولی تأثیر زمان

شاخص‌های رنگ خلال‌های سیب‌زمینی خشک‌شده

نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که دمای محلول اسمزی، از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر میزان روشنایی (L^*) رنگ خلال‌های سیب‌زمینی داشت ($p < 0.05$)، ولی تأثیر تغییرات غلظت و زمان از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). همان‌طوری که در شکل 5- الف مشاهده می‌شود، با افزایش دمای محلول اسمزی، شدت روشنایی رنگ نمونه‌های سیب‌زمینی در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. احتمالاً، در ابتدا کلرید سدیم مانع از انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی شده و مقدار L^* افزایش می‌یابد، ولی با افزایش بیشتر دما از حدود 45 درجه سانتی‌گراد واکنش‌های

نشان دادند که در نمونه‌های موز خشک شده به روش اسمزی میزان قرمزی در دماهای بالاتر بیشتر از مقدار آن در دماهای پایین‌تر می‌باشد.

از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). با افزایش دمای محلول اسمزی، شدت قرمزی رنگ نمونه‌های سیب‌زمینی در ابتدا کاهش و در انتها افزایش یافت (شکل 5-ج). Krokida و همکاران (2000) نیز



شکل 5- اثر تیمارهای مختلف بر (الف) میزان روشنایی، (زمان غوطه‌وری 240 دقیقه)؛ (ب) قرمزی، (دمای محلول اسمزی 45 درجه سانتی‌گراد)؛ (ج) زردی، (زمان غوطه‌وری 240 دقیقه) و (د) تغییرات کلی رنگ، (زمان غوطه‌وری 240 دقیقه) خلال‌های سیب‌زمینی

غلظت محلول اسمزی بر میزان تغییر کلی (E) رنگ خلال‌های سیب‌زمینی معنی‌دار می‌باشند ($p < 0.05$). همان‌طوری که در شکل

نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تغییرات غلظت و دمای محلول اسمزی و همچنین اثر درجه دوم

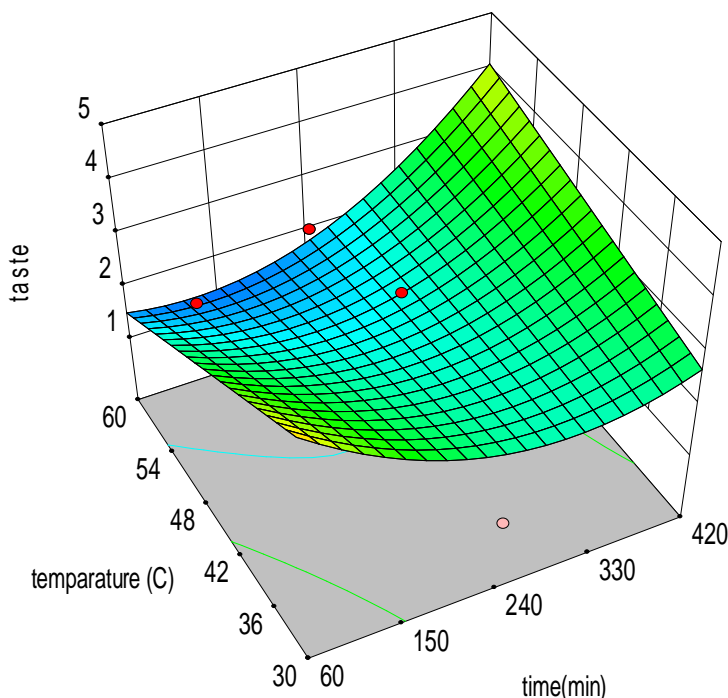
(1392) نشان دادند که تغییرات رنگ برش‌های پرتقال با افزایش زمان تماس با محلول اسمزی تا 180 دقیقه کاهش و با افزایش بیشتر مدت زمان تماس، میزان تغییرات رنگ دوباره افزایش می‌یابد. آن‌ها همچنین نشان دادند که با افزایش غلظت محلول اسمزی، تغییرات رنگ کاهش می‌یابد.

ارزیابی حسی

نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که اثر هیچ یک از عوامل مختلف مورد بررسی بر ویژگی‌های حسی نمونه‌ها معنی‌دار نبود و تنها اثر متقابل دما و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی و اثر توان دوم زمان غوطه‌وری بر امتیاز طعم نمونه‌ها معنی‌دار بود ($p < 0.05$). با توجه به شکل 6 مشاهده می‌شود که با افزایش دما و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، امتیاز طعم نمونه‌ها افزایش یافته است که احتمالاً به این علت است که با افزایش زمان و دمای محلول اسمزی، مقدار نمک منتشر شده به داخل خلال‌ها افزایش یافته و طعم محصول را تحت تاثیر مثبت قرار داده است.

5-d مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان تغییر کلی رنگ نمونه‌های سیب‌زمینی در دماهای بالای محلول اسمزی، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. تغییر کلی رنگ یا E، بیانگر تفاوت در میزان رنگ محصول فرآوری‌شده با ماده اولیه قبل از فرآوری می‌باشد و در حقیقت، افزایش تفاوت رنگ محصول با ماده اولیه را نشان می‌دهد. ایجاد رنگ‌های جدید و در نتیجه تغییر مقادیر مولفه‌های رنگی و همچنین شاخص تغییرات کل (E)، ناشی از انجام واکنش‌های شیمیایی رنگ‌زا مثل واکنش‌های میلارد بین قندها و پروتئین‌ها و تشکیل ملانوئیدین به‌ویژه در دماهای بالاتر می‌باشد (Krokida et al., 2000).

Krokida و همکاران (2000) نشان دادند که با افزایش دمای محلول اسمزی از 30 تا 60 درجه سانتی‌گراد شاخص‌های رنگ برش‌های سیب و موز تغییر می‌کند، به این صورت که مقدار L ابتدا کاهش و سپس افزایش، مقدار a* ابتدا کاهش و سپس افزایش و مقدار b* افزایش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های تحقیق جاری در مورد شاخص‌های رنگ سیب‌زمینی کاملاً مطابقت دارند. عزیز و همکاران



شکل 6- اثر زمان (دقیقه) و دمای محلول اسمزی (درجه سانتی‌گراد) بر امتیاز طعم خلال‌های سیب‌زمینی، غلظت محلول اسمزی 10 درصد

مناسب می‌باشد. مدل به‌دست آمده برای مقدار رطوبت مدل فاکتوریل با اثرات متقابل دوتایی (2FI) است که شکل عمومی این مدل به‌صورت رابطه 5 می‌باشد.

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C + b_{12}AB + b_{13}AC \quad (5)$$

مدل‌های به‌دست آمده و ارزیابی برازش آن‌ها

در جدول 2 ضرایب مربوط به مدل‌های به‌دست آمده برای هر صفت نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار ضریب همبستگی به‌دست آمده برای صفات مورد بررسی به‌جز b* و E بالای 0/7 می‌باشد که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل و برازش نسبتاً

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C + b_{12}AB + b_{13}AC + b_{23}BC + b_{11}A^2 + b_{22}B^2 + b_{33}C^2 \quad (6)$$

در روابط 5 و 6، b_n ضریب مرتبط با فاکتور n و حروف A، B و C نشان‌دهنده فاکتورها در مدل هستند.

مدل به‌دست آمده برای بازجذب آب و شاخص قهوه‌ای شدن مدل درجه دوم و مدل به‌دست آمده برای سایر صفات مدل درجه دوم کاهش یافته می‌باشد. شکل عمومی مدل درجه دوم به‌صورت رابطه 6 می‌باشد.

جدول 2- ضرایب مدل‌های به‌دست آمده برای صفات اندازه‌گیری شده

ضریب	رطوبت	بازجذب آب	چروکیدگی	شاخص قهوه‌ای شدن	L*	a*	b*	E
ثابت	14/07	4/54	139/65	0/25	-16/56	35/51	87/288	152/16
غلظت (A)	-0/52	-0/097	0/92	-0/044	-0/285	0/178	-0/324	-0/41
زمان (B)	0/016	-0/00047	-	-0/00005	-	-	-0/0123	-0/166
دما (C)	-0/17	-0/06	-3/16	0/0082	2/89	-1/639	-2/279	-4/6
A×B	-0/0005	0/00005	-	-0/0000006	-	-	-	-
A×C	0/01	-0/00008	-0/038	0/00024	0/0065	-0/0053	-	0/058
B×C	0/00004	0/000008	-	-0/0000035	-	-	-	-
A ²	-	0/0026	-	0/00128	-	-	-	-0/121
B ²	-	-0/000002	-	0/000000013	-	-	-	0/0003
C ²	-	0/00072	0/035	-0/000119	-0/031	0/0184	0/0258	0/042
r ²	0/71	0/87	0/71	0/91	0/89	0/94	0/63	0/67
CV	20/36	7/25	9/92	21/95	3/27	27/71	10/6	29/47

بهینه‌یابی

غوطه‌وری و دمای اسمزی، نمونه‌ها بیشترین میزان بازجذب آب و کمترین تغییرات رنگ و قهوه‌ای شدن را داشته باشند. بر این اساس، غلظت 2 درصد، زمان غوطه‌وری 173 دقیقه و دمای 46 درجه سانتی‌گراد محلول اسمزی به‌عنوان شرایط بهینه برای تولید نمونه‌های مورد نظر به‌دست آمد. شرایط بهینه‌یابی و سطوح مطلوبیت در جدول 3 نشان داده شده‌اند.

برای پیش‌بینی سطوح متغیرهای مستقل (غلظت، زمان غوطه‌وری و دمای محلول اسمزی) از روش بهینه‌سازی عددی با نرم‌افزار Design Expert 8.0.7.1 استفاده شد. معیارهای مورد استفاده برای بهینه‌یابی به این صورت تعریف شدند که با استفاده از حداقل غلظت، زمان

جدول 3- شرایط بهینه‌یابی برای تعیین بهترین دما، زمان و غلظت محلول اسمزی

شاخص	هدف	حد پایین	حد بالا	مقدار بهینه
غلظت محلول اسمزی	حداقل	0	20	2/07
زمان غوطه‌وری	حداقل	60	420	173/13
دمای محلول اسمزی	حداقل	30	60	46/06
درصد بازجذب آب	حداکثر	1/98	3/22	2/78
شاخص قهوه‌ای شدن	حداقل	0/05	0/4	0/28
b*	حداکثر	23/98	42/83	34/41
a*	حداقل	-3/02	3/68	-1/34
L*	حداکثر	39/5	52/86	50/52
E	حداقل	7/9	45/57	13/44
سطح مطلوبیت	-	-	-	0/71

اسمزی، بر تغییرات رنگ نمونه‌ها نیز مؤثر بود. افزایش غلظت محلول اسمزی موجب کاهش محتوای رطوبت و افزایش بازجذب آب گردید و بر تغییرات رنگ محصول نیز مؤثر بود. با افزایش زمان غوطه‌وری و دمای محلول اسمزی امتیاز طعم افزایش پیدا کرد. نتایج بهینه‌یابی با روش سطح پاسخ، نشان داد که شرایط مطلوب برای پیش‌تیمار آبگیری اسمزی جهت خشک کردن خلال‌های سیب‌زمینی، غلظت 2 درصد، دمای 46 درجه سانتی‌گراد و زمان 173 دقیقه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثر پیش‌تیمار آبگیری اسمزی بر کیفیت خلال‌های سیب‌زمینی خشک شده با جریان هوا مورد بررسی قرار گرفته و بهینه‌یابی تیمارها با استفاده از روش سطح پاسخ صورت گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، محتوای رطوبت و بازجذب آب افزایش یافت. زمان غوطه‌وری در محلول

منابع

- سلیمانی، ج.، آصفی، ن.، 1390، تاثیر پیش فرآیند اسمز بر دانسیته هویج خشک شده با هوای گرم. نشریه بهداشت مواد غذایی، 1(4)، 37-44.
- عزیزی خصال، م.، بصیری، ع.، مقصدلو، ی.، 1392، بهینه سازی فرآیند ترکیبی آبگیری اسمزی در فشار کاهش یافته ناپیوسته-خشک کردن با هوای داغ برش های پرتقال با استفاده از روش سطح پاسخ. علوم غذایی و تغذیه، 10(3)، 63-72.
- محمدی، م.، محمدپور کاریزکی، و.، 1395، استفاده از پردازش تصویر جهت مطالعه فرآیند خشک کردن اسمزی سیب زمینی. علوم و صنایع غذایی ایران، 13 (56)، 81-90.
- Alakali, J.S., Ariaahu, C.C., Kpa, N.N., 2006, Kinetics of osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30, 597-607
- AOAC., 1995, Official Methods of Analysis: Official Method for Moisture. Method No. 925.10. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Bakalis, S. and Karathanos, V.T., 2005, Study of rehydration of osmotically pretreated dried fruit samples. *Drying Technology*, 23, 533-549.
- Changrue, V., 2006, Hybrid (Osmotic, Microwave-vacuum) Drying of Strawberries and Carrots Viboon Changrue. A thesis submitted to McGill University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- Chavan, U.D. Amarowicz., R., 2012, Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2), 201-209.
- Fathi, M., Mohebbi, M. and Razavi, S. M. A., 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, 1357-1366.
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Gaspareto, O. C. P., Oliveira, E. L., 2006, Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research International*, 39, 492-498.
- Figiel, A., 2010, Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*, (98): 461-470.
- Friedman, M., 1997, Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1523-1540.
- Gani, G. and Kumar. A., 2013, Effect of drying temperature and microwave power on the physico-chemical characteristics of osmo-dehydrated carrot slices. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(11), 2250-3153.
- Ispir, A., Togrul, T.I., 2009, Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, 78, 166-180.
- Katan, M. B., De Roos, N. M., 2004, Promises and problems of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 369-377.
- Koc, B., Eren, I., and Ertekin, F.K. 2008. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, (85): 340-349.
- Krokida, M.K., Karathanos, V.T. and Maroulis, Z.B., 2000, Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. *Drying Technology*, 18(4-5), 937-950.
- Matusek, A., Czukur, B., Meresz, P., 2008, Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 365-373.
- Pandharipande, S.L., Saurav, P., Ankit, S.S., 2012, "Modeling of Osmotic Dehydration Kinetics of Banana Slices using Artificial Neural Network. *International Journal of Computer Applications*, 48 (3), 26-31.
- Panyawong, S. and Devahastin, S., 2007, Determination of deformation of a food product undergoing different drying methods and conditions via evolution of a shape factor. *Journal of Food Engineering*, (78), 151-161.
- Piotrowski, D., Lenart, A., Wardzyński, A., 2004, Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. *Journal of Food Engineering*, 65, 519-25.

- Rahman, M.S., Lamb, L., 1990, Osmotic dehydration of pineapple. *Journal of Food Science and Technology*, 27, 150-152.
- Raoult-Wack, AL., 1994, Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends of Food Science and Technology*, 5, 255-260.
- Rastogi, N.K., Nayak, C.A. and Raghavarao, K., 2004, Influence of osmotic pre-treatments on rehydration characteristics of carrots. *Journal of Food Engineering*, 65(2), 287-292.
- Shakouri, S., Ziaolhagh, H.R., Sharifi-Rad, J., Heydari-Majd, M., Tajali, R., Nezarat, S. and Da Silva, J.A.T., 2015, The effect of packaging material and storage period on microwave-dried potato (*Solanum tuberosum* L.) cubes. *Journal of food science and technology*, 52(6), 3899-3910.
- Shi, J.J., 2008, Osmotic Dehydration of Foods," Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications, DEStech Publications, Inc. Pennsylvania, U. S. A 275-295.
- Singh, B., Panesar, S., Gupta, A.K. and Kennedy, F., 2006, Optimization of osmotic dehydration of carrot cubes in sucrose-salt solutions using response methodology. *European Food Research and Technology*, 225, 157-165.
- Tiwari, R. B., Jalali, S., 2004, Studies on osmtic dehydration of different varieties of mango. In proceeding of First Indian Horticulture congress-2004, New Delhi.
- Tkalcic, M. and Tasic, J.F., 2003, Colour spaces: perceptual, historical, and applicational background. *IEEE*, 1, 304-308.
- Torres, J.D., Talens, P., Escriche, I.A., 2012, Chiralt Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 4, 240-246.
- Wang, R., Zhang, M., & Mujumdar, A. S., 2010, Effect of osmotic dehydration on microwave freeze-drying characteristics and quality of potato chips. *Drying Technology*, 28(6), 798-806.
- Ziaolhagh, S. H. R., 1999, Investigation on the quality and shelf life of raisin and dried apricots in different export packages. M.Sc.Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.

Study on the effect of osmotic pretreatment on the quality of air-dried potato sticks using response surface methodology

N. Jafari¹, S. H. R. Ziaolhagh^{2*}, A. R. Mohammadi Nafchi³

Received: 2018.04.26

Accepted: 2018.12.30

Introduction: Potato is the fourth most important agricultural product after rice, wheat, and corn. Potato produces more dry matter, protein, and minerals per unit area in comparison with other crops. Many of the ingredients in potato are important, due to their beneficial effects on health. Hence, this product is very suitable for human consumption. Osmotic dehydration is used to remove a portion of water from foods such as fruits and vegetables, by immersion in high osmotic solutions such as sugars and salts. Osmotic dehydration is a relatively simple and economical process that improves the texture and rehydration properties of the products and prevents enzymatic browning by preventing the activity of polyphenol oxidases. In this process, the acid is removed and the sugar is absorbed, thus the composition of the fruits is changed and the taste and total acceptance of the product are improved. Osmotic dehydrating method has been used for drying various products such as carrots, mangoes, pineapples, strawberries, bananas, apples, apricots, and many other fruits. In this research, the effects of osmotic pre-treatment on qualitative and sensory properties of dried potatoes were investigated.

Materials and methods: In this study, Agria cv. potato samples were used and after washing, were completely peeled and cut into pieces of $3.5 \times 0.5 \times 0.5$ cm. The treatments used in this study included osmotic solution concentration (at 0, 10 and 20% sodium chloride levels), osmotic solution temperature (30, 45 and 60°C), and immersion time in osmotic solution (at three levels 60, 240 and 720 minutes). The proportion of potato sticks to osmotic solution in all experiments was 1:6. After applying osmotic pre-treatment, samples were dried in an oven with a temperature of 60°C and a flow rate of 1.5 m/s to reach a moisture content of 8-10%. The moisture content, rehydration capacity, shrinkage, browning, color indices, and sensory properties (taste, color, shape, strength, and total acceptance) of potato samples were evaluated after the drying process and the response surface methodology (RSM) based on central composite design (CCD) were used to determine the optimal conditions for osmotic pre-treatment.

Results and discussion: The results of statistical analysis of the data showed that osmotic time and osmotic solution concentration had a significant effect on moisture content of potato slices. By increasing the time and decreasing the concentration of osmotic solution, moisture content of dried potato samples increased. The immersion time and osmotic solution temperature did not have any significant effect on the rehydration of potato slices, but the effect of osmotic solution's concentration was statistically significant. By increasing the concentration of osmotic solution, the rehydration rate of potato samples decreased. The results showed that the interaction of temperature and concentration of osmotic solution had a significant effect on the degree of shrinkage of potato slices. Osmotic time and osmotic solution concentration had statistically significant effects on the browning index of potato slices, in a way that by increasing the concentration of osmotic solution, the browning index of potato samples decreased initially and then increased. The results of statistical analysis of the color indices showed that the osmotic solution temperature had a significant effect on the brightness (L^*) of the potato slices, while the concentration of osmotic solution significantly affected their yellowness (b^*) and the temperature and concentration of osmotic solution had a significant effect on the redness (a^*) of the potato slices. By increasing the concentration of osmotic solution, the overall change in the color (E) of potato samples at high temperatures of osmotic solution first increased and then decreased. Sensory evaluation results showed that concentration, time, and temperature of osmotic solution had no significant effect on the sensory properties of potato sticks, except for taste. By increasing the temperature and time of immersion in osmotic solution, the taste scores of the samples increased. According to the results of optimization by the surface response method, the concentration of 2%, temperature of 46°C and dipping time of 173 min was introduced as favorable conditions.

Keywords: air drying, dried foods, osmotic dehydration, potato products, Response surface methodology

1. MSc Student, Department of Food Science and Technology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.
 2. Assistant professor, Agricultural Engineering Research Department, Semnan (Shahrood) Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrood, Iran.
 3. Associate Professor, Food & Chemical Engineering Department, Islamic Azad University, Damghan, Iran.
- (*Corresponding Author Email: hziaolhagh@gmail.com)