

بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن ترکیبی اسمز - هوای داغ برش‌های قارچ خوراکی دکمه‌ای (*Agaricus Bisporus*) توسط روش سطح پاسخ

زینب اصغری بیرام^a، علیرضا بصیری^{b*}

^a دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

^b استادیار پژوهشکده صنایع شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

46

۴۹

چکیده

مقدمه: ماندگاری پایین قارچ دکمه‌ای، سبب شده که بخش عمده‌ای از تولید قارچ دکمه‌ای به صورت فرآوری شده به بازار عرضه گردد. در فرآیند آبگیری اسمزی یک فرآیند انتقال جرم چند مولفه‌ای رخ می‌دهد، به گونه‌ای که همزمان با خروج آب از ماده غذایی، عوامل اسمزی به درون بافت نفوذ می‌کنند که مقدار آن در مقایسه با آب خروجی بسیار اندک می‌باشد. در این تحقیق بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن ترکیبی اسمز - هوای داغ برش‌های قارچ دکمه‌ای با هدف بیشینه کردن خروج آب و جذب مجدد آب و کمینه نمودن جذب ماده جامد و چروکیدگی توسط روش سطح پاسخ انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: اثرات شش فاکتور دمای محلول اسمزی با محدوده ۲۵ الی ۴۰ درجه سانتی‌گراد در پنج سطح ۲۵، ۳۰، ۳۲/۵، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی با محدوده ۱۲۰ الی ۳۰۰ دقیقه در سطوح ۱۲۰، ۱۷۸، ۲۱۰، ۲۴۱ و ۳۰۰ دقیقه، غلظت سدیم کلرید در محلول اسمزی با محدوده ۰ الی ۱۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در سطح‌های ۰، ۴/۸، ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر و ساکارز با محدوده ۴۰ الی ۶۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در پنج سطح ۴۰، ۴۶، ۵۰، ۵۳ و ۶۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر، فشار محیط با محدوده ۵۰۰ الی ۷۰۰ میلی‌بار در سطوح ۵۰۰، ۵۶۴، ۶۰۰، ۶۳۵ و ۷۰۰ میلی‌بار و دمای خشک کردن تکمیلی با محدوده ۳۰ الی ۶۰ درجه سانتی‌گراد در سطح‌های ۳۰، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از طرح CCD بر روی شاخص‌های خروج آب، جذب ماده جامد، جذب مجدد آب و چروکیدگی بررسی گردیدند.

یافته‌ها: دمای محلول اسمزی ۳۹ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی ۱۶۴ دقیقه، غلظت عوامل اسمزی (۱۴ درصد میزان سدیم کلرید و ۵۳ درصد مقدار ساکارز)، فشار محیط ۶۰۰ میلی‌بار و دمای خشک کردن تکمیلی ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان شرایط بهینه فرآیند به‌دست آمد. در شرایط بهینه، خروج آب، جذب ماده جامد، جذب مجدد آب و چروکیدگی به ترتیب ۶۳/۳۸، ۳/۱۷، ۲/۲۶ و ۷/۱۵ درصد، بودند.

نتیجه‌گیری: اگرچه شرایط بهینه به‌دست آمده شرایط مطلوبی می‌باشد، اما برای داشتن محصولی بهتر باید مواردی از جمله رنگ، بافت، مزه و دیگر شاخص‌های کیفی نیز در تحقیقات آینده مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی

آبگیری اسمزی، بهینه‌سازی، خشک کردن با هوای داغ، روش سطح پاسخ، قارچ خوراکی دکمه‌ای

کوتاهی اعمال و پس از آن فرآیند در فشار محیط ادامه می‌یابد (Corzo & Bracho, 2006). اعمال کاهش فشار به صورت ناپیوسته باعث انبساط منافذ محصول، افزایش سطح انتقال جرم و در نتیجه تسریع آبیگری می‌گردد. کاهش فشار باعث افزایش میزان خروج آب از محصول می‌شود، اما بر مقدار جذب ماده جامد تقریباً بی‌تاثیر می‌باشد (Ozdemir *et al.*, 2008).

عوامل مختلفی از جمله نوع و غلظت محلول اسمزی (Sultanolu & Ertekin, 2000; Sun, 2005) Ozdemir *et al.*, 2008; Lenart, 2007; Shukla & Singh, 2007; Lenart, Ertekin, 2000; Sun, 2005) فرآیند (Shukla & Singh, 2007; 2007) سرعت همزدن محلول اسمزی (Martinez *et al.*, 2007) نسبت محصول به محلول اسمزی (Shukla & Singh, Sun, 2005) (2007) و ویژگی‌های مواد اولیه مورد استفاده (Sun, 2005) بر آبیگری اسمزی میوه‌ها و سبزی‌ها تاثیرگذار هستند.

افزایش دمای محلول اسمزی باعث افزایش مقدار خروج آب می‌گردد، اما بر روی میزان جذب ماده جامد تاثیرگذار نیست (Nsonzi, 1998). افزایش سرعت همزدن و همچنین نسبت محلول اسمزی به محصول باعث می‌شود که آب بیشتری از محصول خارج شود (Martinez *et al.*, 2007).

روش سطح پاسخ^۱، روشی است که در بررسی اثرات متغیرهای مستقل بر روی شاخص‌های کیفی و همچنین بهینه‌سازی فرآیند، به طور گسترده در صنایع غذایی استفاده می‌گردد (Singh *et al.*, 2005; Corzo, 2005).

در این تحقیق متغیرهای موثر در فرآیند خشک کردن ترکیبی اسمز- هوای داغ (غلظت و دمای محلول اسمزی، زمان تماس نمونه با محلول اسمزی و میزان فشار محیط) بر روی میزان خروج آب، افزایش ماده جامد و همچنین دمای هوا در خشک کردن تکمیلی بر روی برخی شاخص‌های کیفی فرآورده نهایی (چروکیدگی و جذب مجدد آب) بررسی، داده‌های حاصل با روش سطح پاسخ، آنالیز و بهینه‌سازی شدند.

ارزش غذایی بالای قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) در کنار طعم و عطر مناسب، افزایش تقاضا و تولید این محصول را به دنبال داشته است. ماندگاری پایین قارچ دکمه‌ای، سبب شده که بخش عمده‌ای از تولید قارچ دکمه‌ای به صورت فرآوری شده به بازار عرضه گردد. یکی از این روش‌های فرآوری رایج، خشک کردن برش‌های قارچ می‌باشد که به دلیل بکارگیری دمای بالا و زمان طولانی فرآوری، به شاخص‌های کیفی محصول صدمه وارد می‌کند. استفاده از آبیگری اسمزی به عنوان پیش تیمار، نه تنها به حفظ شاخص‌های کیفی کمک می‌نماید، بلکه میزان انرژی مورد نیاز فرآیند را نیز کاهش می‌دهد. مقدار خروج آب در آبیگری اسمزی به اندازه‌ای نیست که فرآورده‌ای پایدار و بدون نیاز به شرایط ویژه نگهداری تولید نماید. به همین دلیل نیز نیاز به خشک کردن تکمیلی دارد.

در فرآیند آبیگری اسمزی، محصولات در محلول‌های غلیظ قندی، نمکی و یا ترکیبی از این دو قرار گرفته و با ایجاد شیب غلظت بین محلول اسمزی و محصول، بخشی از آب موجود در محصول خارج می‌گردد. در واقع یک فرآیند انتقال جرم چند مولفه‌ای رخ می‌دهد، به گونه‌ای که هم‌زمان با خروج آب از ماده غذایی، عامل و یا عوامل اسمزی به درون بافت (درون سلول‌ها یا فضاهای بین سلولی) نفوذ می‌کنند که مقدار آن در مقایسه با آب خروجی بسیار اندک می‌باشد (Ertekin, Sun, 2005).

(Singh *et al.*, 2005; Sultanolu & 2000) آبیگری اسمزی به عنوان پیش فرآیند در خشک کردن با هوای داغ، در محصولات متعددی تحت بررسی قرار گرفته است (Sun, 2005) Singh *et al.*, 2005; Lenart, 2007; (Torrington, 2001). از آنجایی که تبادل جرم در آبیگری اسمزی، روند آهسته‌ای دارد، از مکانیسم‌های مختلفی جهت افزایش آن استفاده می‌گردد. کاهش فشار محیط یکی از مکانیسم‌هایی است که می‌تواند تبادل جرم در این فرآیند را بهبود ببخشد (Zhao & Corzo & Bracho, 2006). Xie, 2004). کاهش فشار به دو صورت پیوسته و ناپیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالت ناپیوسته، کاهش فشار در ابتدای فرآیند برای مدت

مواد و روش‌ها

- مواد

قارچ دکمه‌ای به صورت روزانه از شرکت ملارد تهیه گردید. قارچ‌های مورد استفاده دارای رطوبت اولیه 91 ± 2 درصد بر مبنای وزن تر و ارتفاع و ضخامت (قطر قارچ) به ترتیب $38/5$ و $22/2$ میلی‌متر بودند. رطوبت نمونه‌ها مطابق با روش AOAC (1984) و با قرار گرفتن نمونه‌ها در آون اتمسفریک و در دمای 102 ± 2 درجه سانتی‌گراد تا دستیابی به وزن ثابت اندازه‌گیری شدند (AOAC, 1984).

- روش تعیین نقشه آزمایشات

با انجام پیش آزمایشات، محدوده متغیرها با توجه به اهداف مورد نظر یعنی کمینه نمودن چروکیدگی و میزان جذب ماده جامد و بیشینه نمودن خروج آب و جذب مجدد آب، تعیین گردیدند: دمای محلول اسمزی در محدوده ۲۵ الی ۴۰ درجه سانتی‌گراد در پنج سطح ۲۵، ۳۰، ۳۲/۵، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی در محدوده ۱۲۰ الی ۳۰۰ دقیقه در سطوح ۱۲۰، ۱۷۸، ۲۱۰، ۲۴۱ و ۳۰۰ دقیقه، غلظت سدیم کلرید در محلول اسمزی در محدوده ۰ الی ۱۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در سطح‌های ۰، ۴/۸، ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر و ساکارز در محدوده ۴۰ الی ۶۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در پنج سطح ۴۰، ۴۶، ۵۰، ۵۳ و ۶۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر، فشار محیط در محدوده ۵۰۰ الی ۷۰۰ میلی‌بار در سطوح ۵۰۰، ۵۶۴، ۶۰۰، ۶۳۵ و ۷۰۰ میلی‌بار و دمای خشک کردن تکمیلی در محدوده ۳۰ الی ۶۰ درجه سانتی‌گراد در سطح‌های ۳۰، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد. با توجه به محدوده‌های به دست آمده و با استفاده از مدل CCD^۱، آزمایشات مطابق با نقشه آزمایشات طراحی شده و در چهار تکرار انجام شدند (جدول ۱).

- روش آماده سازی محلول‌ها و انجام آزمایشات

آماده‌سازی محلول‌های اسمزی، با استفاده از ساکارز، سدیم کلرید و سیتریک اسید، با درجه خوراکی صورت گرفت. محلول‌های تهیه شده با

نسبت ده به یک محلول به محصول به درون جار بی‌هوازی مجهز به فشارسنج منتقل و برای دستیابی به دمای مورد نظر بر روی هات‌پلیت مجهز به همزن قرار گرفتند. پایش دمای محلول با دماسنج جیوه‌ای که در درون محلول قرار داشت، انجام می‌گردید. جهت کاهش واکنش قهوه‌ای شدن به محلول اسمزی، در کل آزمایش‌ها مقداری ثابت و برابر ۱ درصد (وزنی- حجمی) سیتریک اسید اضافه شد.

بعد از شستشوی نمونه‌ها، و جداسازی آب سطحی آنان توسط کاغذ فیلتر، نمونه‌ها به دو نیم، برش داده شدند. برش‌های تهیه شده در محلول‌های اسمزی که قبلاً به دمای مورد نظر رسیده بودند، قرار گرفته، فشار مورد نظر در درون جار برقرار و پس از گذشت ۱۰ دقیقه، مجدداً فشار محیط برقرار و آبیگری اسمزی در این فشار ادامه یافت. پس از گذشت زمان مورد نظر برای آزمایش، نمونه‌ها از ظرف خارج، ۳۰ ثانیه با آب شسته شده و بعد از خشک کردن سطوح آنها، مجدداً توزین شدند. نمونه‌ها بر روی سطوح حامل قرار گرفته و به درون خشک‌کن با جابه‌جایی هوای گرم جهت خشک کردن تکمیلی منتقل گردیدند. پس از سپری شدن زمان مورد نظر (تا دستیابی به رطوبت نهایی ۷ درصد بر اساس وزن تر) نمونه‌ها از خشک‌کن خارج شده و مجدداً توزین شدند. میزان خروج رطوبت و جذب ماده جامد از طریق روابط ۱ و ۲ به دست آمدند (Singh et al., 2005).

$$WL = \frac{W_0 X_0 - W_t X_t}{W_0} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$SG = \frac{W_t S_t - W_0 S_0}{W_0} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در این دو فرمول:

SG: میزان جذب ماده جامد (%)

S₀: مقدار ماده جامد نمونه اولیه (gr)

S_t: مقدار ماده جامد نمونه آبیگری شده (gr)

W₀: جرم اولیه نمونه (gr)

WL: میزان خروج آب (%)

W_t: جرم نمونه آبیگری شده (gr)

X₀: رطوبت اولیه نمونه (%)

X_t: رطوبت نمونه آبیگری شده (%) است.

جدول ۱- متغیرهای مستقل و غیر مستقل در فرآیند آبگیری اسنوزی

شماره آزمون	متغیرهای تحت بررسی						پسرخ ها			
	اسنوزی (°C) (X1)	زمان تماس (min) (X2)	غلظت سدیم کلرید (%) (X3)	غلظت ساکاروز (%) (X4)	مجهول فشار (mbar) (X5)	دمای خشک کردن (°C) (X6)	میزان کاهش لیپ (%) (X7)	مقدار جذب ماده جامد (%) (X8)	میزان چروکیدگی (%) (X9)	مقدار جذب مجدد لیپ
۱	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۱.۵	۵۶۴	۵۰	۵۲/۶۵	۱۲/۱۵	۳۴	۱/۴۶
۲	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۴.۴	۵۶۴	۴۰	۳۹/۳۱	۱۰/۶	۳۳	۱/۸۳
۳	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۶.۰	۶۰۰	۴۵	۳۹/۹۵	۶/۹۵	۳۱/۸۵	۱/۸۳
۴	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۵۶۴	۵۰	۴۶/۱۴	۷۳/۱۱	۳۳	۱/۸۳
۵	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۵۰	۸/۶۴	۴۶/۰۱	۴۰	۱/۸۳
۶	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۴۸/۳۴	۴۰/۱۱	۰.۱	۱/۸۳
۷	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۳۵/۳۳	۶/۹۵	۳۳	۱/۸۳
۸	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۷۸/۱۵	۱۰/۷	۱۱	۱/۸۳
۹	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۵۰	۳۸/۰۴	۵۸/۸	۳۳	۱/۸۳
۱۰	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۰۰	۴۰	۸۸/۵۵	۵۸/۷	۰.۴	۱/۸۳
۱۱	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۳۵/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۱۲	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۳۸/۰۵	۶۸/۶	۱۱	۱/۸۳
۱۳	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۱۴	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۱۵	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۱۶	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۱۷	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۱۸	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۱۹	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۲۰	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۲۱	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۲۲	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۲۳	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۲۴	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۶۳۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳
۲۵	۷۵	۷۸۱	۰.۱	۳.۵	۴۶۵	۴۰	۳۸/۳۵	۶۵/۶	۱۱	۱/۸۳

بحث

– اثرات متغیرهای تحت بررسی بر روی شاخص‌های کیفی

رابطه زمان تماس محصول و محلول اسمزی (IT) با میزان خروج آب (شکل ۱) بیانگر افزایش میزان خروج آب از محصول در هنگام افزایش زمان تماس محصول و محلول اسمزی است. در واقع با افزایش زمان تماس، عوامل اسمزی قادر خواهند بود به میزان بیشتری در بافت قارچ نفوذ کنند و در مقابل میزان آب بیشتری از بافت خارج شود. البته این مسئله تا زمانی صورت می‌گیرد که تعادل بین خروج آب از محصول و نفوذ عوامل اسمزی به درون آن ایجاد شود. اما تا برقراری این تعادل، امکان انتقال جرم وجود دارد. در آزمایش‌های انجام شده در شرایط یکسان، مقدار خروج آب از محصول در ۱۷۸ دقیقه ۴۵/۸۴ درصد جرم اولیه بود، در صورتی که با افزایش زمان به ۲۴۱ دقیقه، خروج آب از محصول به ۵۴/۹۵ درصد جرم اولیه افزایش می‌یابد.

همچنین در صورت افزایش مقدار سدیم کلرید (SC) موجود در محلول اسمزی، میزان خروج آب از محصول افزایش می‌یابد. سدیم کلرید که به علت گرادیان غلظت به درون بافت نفوذ می‌کند، جایگزین آب در منافذ بافت شده و باعث می‌شود آب از بافت خارج گردد. همان‌طور که ذکر شد، تا زمان برقراری تعادل، هرچقدر عامل اسمزی بیشتر نفوذ کند، آب بیشتری از بافت محصول خارج می‌شود. آزمایش‌های انجام شده در شرایط یکسان نیز گویای این مسئله است که با افزایش غلظت سدیم کلرید از ۴/۸ به ۱۰ درصد، میزان خروج آب از ۳۹/۵۳ درصد به ۵۴/۹۵ درصد افزایش می‌یابد.

با توجه به شکل ۲، کاهش فشار محیط (OP)، افزایش میزان خروج آب از محصول را بدنبال دارد. با کاهش فشار محیط، در واقع خلاء و مکش بیشتری درون محلول اسمزی و در واقع درون بافت محصول ایجاد می‌شود. با ایجاد مکش بیشتر، منافذ موجود در بافت منبسط شده، هوای درون آن‌ها به صورت حباب‌هایی خارج شده و عوامل اسمزی موجود در محلول اسمزی جایگزین می‌شوند. ورود عوامل اسمزی نیز به معنای خروج آب از محصول است. در نتیجه با افزایش مقدار ماده جامد، میزان آب بیشتری نیز از نمونه خارج می‌گردد.

برای تعیین شاخص‌های کیفی جذب مجدد آب و میزان چروکیدگی نیز از روابط ۳ و ۴ استفاده شد که در رابطه ۴ برای اندازه‌گیری میزان چروکیدگی در ۲۰ میلی‌لیتر تولون که در استوانه مدرج ریخته شده، نمونه اولیه قارچ قرار گرفته و تغییر حجم اولیه یادداشت می‌گردد. حجم نمونه مورد نظر بعد از فرآیند اسمز مجدداً به همین طریق اندازه‌گیری شده و طبق فرمول میزان چروکیدگی محاسبه می‌گردد (Sing *et al.*, 2007).

$$RE = \frac{W_t}{W_f} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$SH = \frac{V_0 - V_f}{V_0} \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در این دو فرمول:

RE : میزان جذب مجدد آب (gr/gr)

SH : میزان چروکیدگی (%)

V_0 : حجم اولیه نمونه (mL)

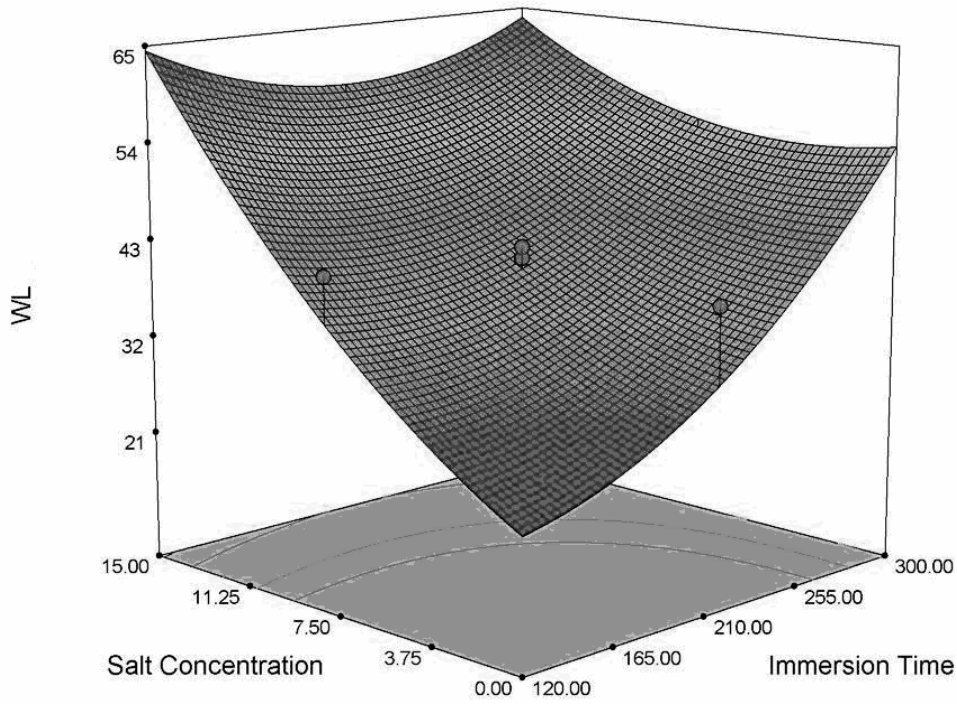
V_f : حجم نمونه نهایی (mL)

W_f : جرم نهایی نمونه (gr)

W_t : جرم نمونه آبیگری شده (gr) است.

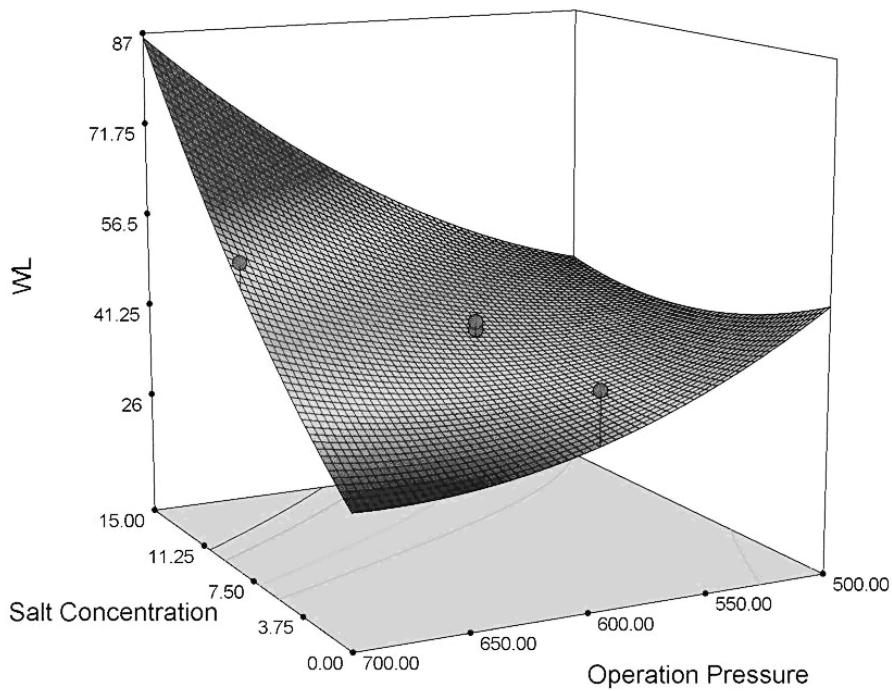
یافته‌ها

در شکل‌های ۱، ۲، ۳، و ۴ به ترتیب منحنی‌های سه بعدی رویه پاسخ به دست آمده در مدل آماری در ارتباط با تاثیر میزان کلرید سدیم و مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی بر روی میزان خروج آب، تاثیر میزان فشار بر روی میزان آب، تاثیر میزان کلرید سدیم و ساکارز بر روی میزان جذب مواد جامد و تاثیر مدت زمان تماس بر روی میزان جذب مجدد آب نشان داده شده‌اند. در شکل ۵ نیز شرایط بهینه فرایند آورده شده است. در جدول ۱ پاسخ‌های به دست آمده حاصل از آزمون‌های انجام شده بر اساس مدل طراحی شده مورد نظر ارائه شده‌اند. ضمن این‌که در جدول ۲ نتایج آنالیز آماری و تجزیه واریانس مربوط به میزان چروکیدگی مشاهده می‌شود و در جدول ۳ نیز نتایج حاصل از آزمون بهینه انجام شده و نتایج آماری با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

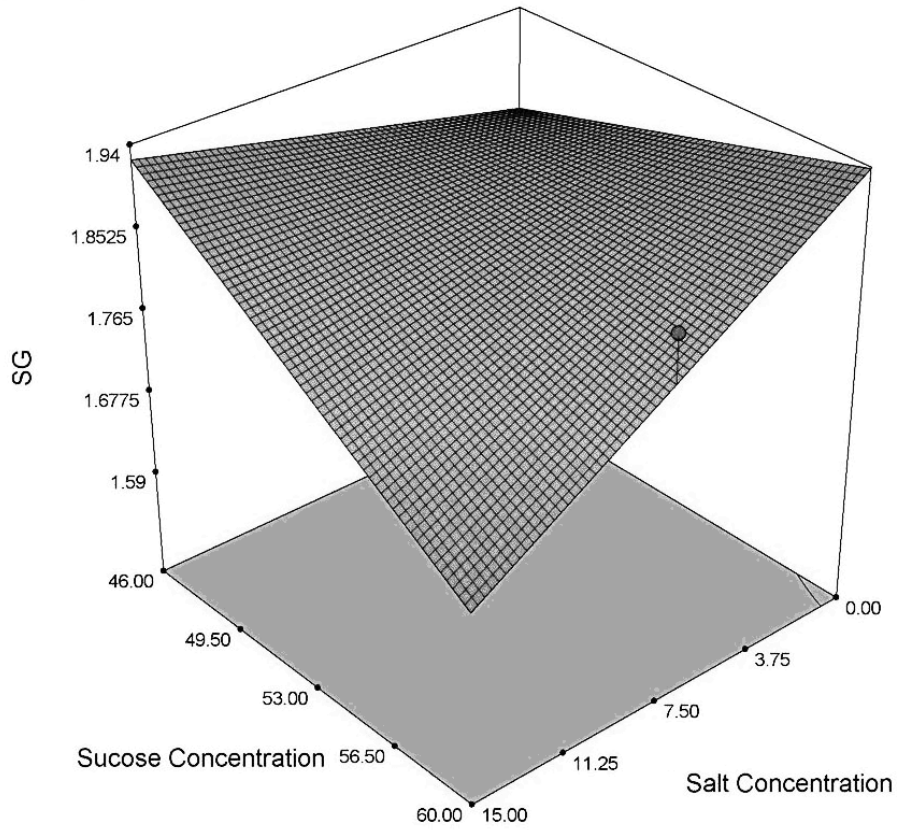


شکل ۱- تاثیر میزان سدیم کلرید و مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی بر روی میزان خروج آب

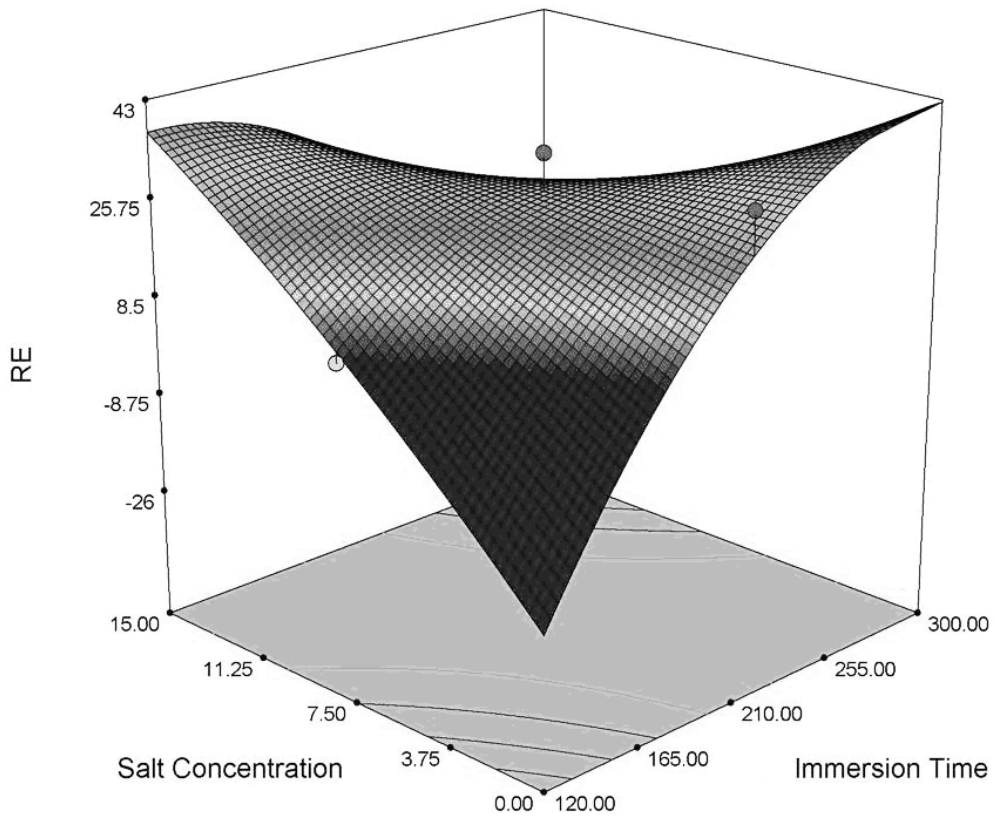
40
۴۵



شکل ۲- تاثیر میزان فشار بر روی میزان خروج آب



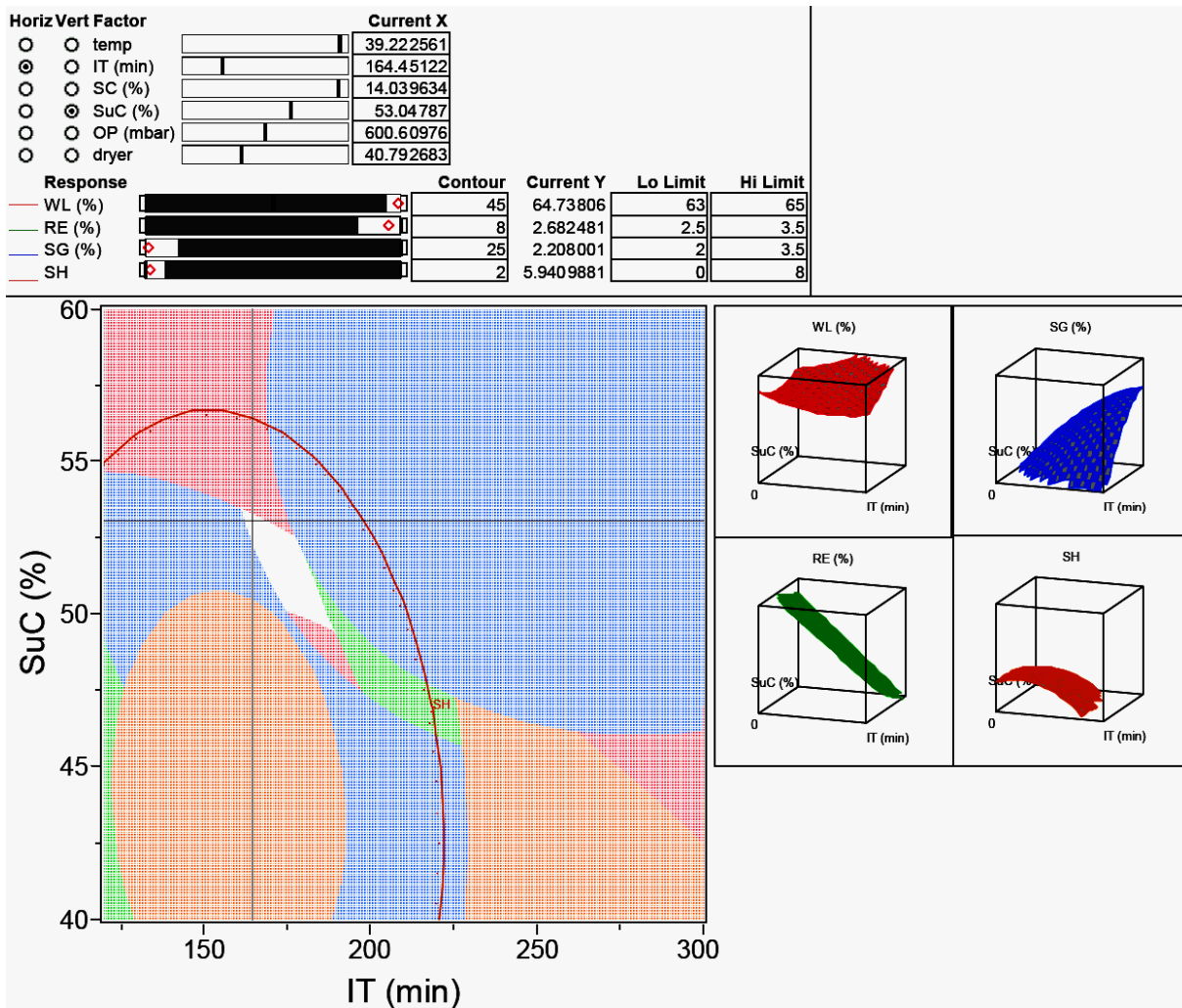
شکل ۳- تاثیر میزان سدیم کلرید و ساکارز بر روی میزان جذب مواد جامد



شکل ۴- تاثیر مدت زمان تماس بر روی میزان جذب مجدد آب

جدول ۲- آنالیز آماری و تجزیه واریانس مربوط به میزان چروکیدگی

Source	DF	Shrinkage (SH)		
		Coefficient	Sum of Squares	p-value
Model	۲۷	۲۸/۰۹۳۳	۳۴۱۸/۷۲۲۶	۰/۷۳۵۸
x_1	۱	-۱۱/۲۲۴۵	۶۸۵/۷۶۱۰	۰/۰۸۱۹
x_2	۱	۰/۵۷۵۶	۱/۹۴۰۸	۰/۹۲۳۰
x_3	۱	-۱/۹۸۸۹	۲۲/۸۵۴۸	۰/۷۴۰۵
x_4	۱	۳/۱۳۳۳	۴۳/۲۱۴۶	۰/۶۴۹۲
x_5	۱	۴/۵۶۳۷	۱۲۴/۳۰۵۷	۰/۴۴۳۰
x_6	۱	-۰/۴۶۶۷	۱/۱۸۵۷	۰/۹۳۹۷
x_{12}	۱	-۱۵/۸۰۵۰	۲۷۴/۱۳۱۵	۰/۲۵۹۲
x_{22}	۱	۹/۱۴۲۱	۳۵/۱۳۰۳	۰/۶۸۱۶
x_{32}	۱	-۱۶/۶۳۳۸	۲۹۷/۴۴۷۶	۰/۲۴۰۶
x_{42}	۱	۴/۸۵۳۴	۹/۷۰۹۶	۰/۸۲۸۹
x_{52}	۱	-۳۲/۰۲۸۴	۴۷۷/۹۴۷۱	۰/۱۴۱۴
x_{62}	۱	-۳/۴۳۰۷	۱۲/۶۸۰۷	۰/۸۰۵۰
$x_1 x_2$	۱	۶/۲۳۴۸	۱۵/۵۵۹۹	۰/۷۸۴۵
$x_1 x_3$	۱	-۱/۶۷۰۸	۱/۲۶۵۲	۰/۹۳۷۷
$x_1 x_4$	۱	-۱۴/۷۰۴۳	۹۵/۴۸۷۵	۰/۵۰۰۵
$x_1 x_5$	۱	-۵/۰۸۳۶	۱۷/۶۰۱۶	۰/۷۷۱۲
$x_1 x_6$	۱	۲۴/۰۳۵۰	۲۴۹/۷۹۲۷	۰/۲۸۰۸
$x_2 x_3$	۱	-۲۰/۸۹۵۹	۲۱۲/۷۰۷۸	۰/۳۱۸۴
$x_2 x_4$	۱	۸/۹۴۸۶	۳۸/۳۸۰۵	۰/۶۶۸۱
$x_2 x_5$	۱	۱۵/۰۲۸۸	۱۰۵/۳۰۷۱	۰/۴۷۹۵
$x_2 x_6$	۱	-۰/۹۴۶۹	۰/۹۶۱۵	۰/۹۴۵۷
$x_3 x_4$	۱	۲۷/۴۴۵۹	۲۸۷/۰۹۱۳	۰/۲۴۸۷
$x_3 x_5$	۱	۳/۶۳۶۹	۵/۵۵۹۹	۰/۸۷۰۰
$x_3 x_6$	۱	-۱۶/۹۴۳۴	۱۱۸/۳۳۰۲	۰/۴۵۴۰
$x_4 x_5$	۱	۱۱/۸۱۲۹	۵۵/۸۵۶۸	۰/۶۰۵۴
$x_4 x_6$	۱	-۵/۶۱۷۴	۱۳/۶۴۴۷	۰/۷۹۷۹
$x_5 x_6$	۱	-۰/۰۵۵۰	۰/۰۰۳۳	۰/۹۹۶۸
Lack of fit	۱۷		۳۳۷۲/۲۳۳۹	۰/۷۳۵۸
Pure error	۱		۲۶۴/۵۰۰۰	
Total	۱۸		۳۶۳۶/۷۳۳۹	
R^2		۰/۴۸۴۵		
Adj- R^2		-۰/۲۸۸۶		



شکل ۵- شرایط بهینه فرآیند

جدول ۳- مقایسه نتایج حاصل از آزمون بهینه انجام شده و نتایج آماری

نتایج	خروج آب (%)	جذب مواد جامد (%)	چروکیدگی	جذب مجدد آب (%)
نتایج روش سطح پاسخ	۶۴ / ۷۳	۲ / ۲۰	۵ / ۹۴	۲ / ۶۸
نتایج آزمایش	۶۳ / ۳۸	۳ / ۱۷	۷ / ۱۵	۲ / ۲۶

غلظت به ۵۳ درصد، مقدار جذب مواد جامد ۱۲/۱۵ درصد می‌شود.

با توجه به شکل ۴ با افزایش مدت تماس محلول اسمزی و نمونه، میزان جذب مجدد آب افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش مدت تماس، مقدار آب بیشتری از بافت نمونه خارج می‌شود. در این حالت، طبیعی است که محصول هرچقدر آب بیشتری از دست داده باشد، می‌تواند آب بیشتری را نیز جذب کند.

اما بین میزان چروکیدگی برش‌های قارچ و

افزایش غلظت سدیم کلرید و ساکارز (SuC) موجود در محلول اسمزی باعث افزایش میزان نفوذ ماده جامد در محصول می‌گردد (شکل ۳). در حقیقت عوامل اسمزی خود ماده جامد هستند که به درون بافت نفوذ می‌کنند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهند که با افزایش مقدار سدیم کلرید از ۴/۸ درصد به ۱۰ درصد، مقدار جذب مواد جامد از ۳/۷۲ درصد به ۶/۴۹ درصد افزایش می‌یابد. همچنین مقدار جذب مواد جامد در غلظت ۴۶ درصدی از ساکارز ۶/۵۱ درصد است که با افزایش

مجدد اشاره کرد. شرایط بهینه با توجه به نتایج به‌دست آمده از انجام آزمایش بهینه، با این که با نتایج آماری یکسان نیستند، اما در مقایسه با آزمون‌های انجام شده بهترین پاسخ‌ها را در برداشته‌اند. در نتیجه شرایط مشخص شده به عنوان شرایط بهینه یعنی دمای محلول اسمزی ۳۹ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی ۱۶۴ دقیقه، غلظت عوامل اسمزی (۱۴ درصد میزان سدیم کلرید و ۵۳ درصد مقدار ساکارز)، فشار محیط ۶۰۰ میلی بار و دمای خشک کردن ۴۰ درجه سانتی‌گراد شرایط مطلوبی می‌باشند، اما برای داشتن محصولی بهتر باید مواردی از جمله رنگ، بافت، مزه و دیگر شاخص‌های کیفی نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند.

سپاسگزاری

مجربان طرح نهایت تشکر را از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به دلیل در اختیار نهادن امکانات آزمایشگاهی دارند.

منابع

- AOAC. (1984). Official methods of analysis. 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Corzo, O. & Bracho, N. (2006). Predicting the moisture and salt contents of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 80 (3), 781-790.
- Corzo, O. & Bracho, N. (2006). Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 40 (8), 1452-1458.
- Da-Wen, S. (2005). *Emerging Technologies for Food processing*, Elsevier Ltd.
- Fermin, W. J. & Corzo, O. (2005). Optimization of vacuum pulse osmotic dehydration of cantaloupe using response surface methodology, *Journal of Food Processing and Preservation*, 29, 20-32.
- Kaymak-Ertekin, F. & Sultanolu, M. (2000). Modeling of mass transfer during osmotic dehydration of apples, *Journal of Food Engineering*, 46 (4), 243-250.
- Lenart, A. (2007). *Osmo-convective*

متغیرهای تحت بررسی، با توجه به تجزیه واریانس که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، رابطه معنی‌داری وجود ندارد. از دلایل عمده عدم تاثیرپذیری چروکیدگی از عوامل تحت بررسی، می‌توان به پدیده هم‌زمان خروج آب از محصول و نفوذ عامل و یا عوامل اسمزی به درون محصول اشاره نمود.

- تعیین شرایط بهینه

کمینه نمودن چروکیدگی و میزان جذب ماده جامد و بیشینه نمودن خروج آب و جذب مجدد آب به عنوان اهداف مورد نظر آزمایشات در تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نظر قرار گرفته و بدین گونه شرایط برای انجام فرآیند بهینه با توجه به شکل ۵ که از روش سطح پاسخ حاصل شده است، به‌دست آمد: دمای محلول اسمزی ۳۹ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی ۱۶۴ دقیقه، غلظت عوامل اسمزی (۱۴ درصد میزان سدیم کلرید و ۵۳ درصد مقدار ساکارز)، فشار محیط ۶۰۰ میلی بار و دمای خشک کردن ۴۰ درجه سانتی‌گراد.

با توجه به محدوده‌هایی که برای هر یک از پاسخ‌ها، در شکل تعریف شده‌است، ناحیه سفید رنگ بخش بهینه جهت انجام آزمایشات می‌باشد که شرایط انتخاب شده از این ناحیه در بالا ذکر گردید و حال برای اطمینان از صحت شرایط، آزمایش در حالت بهینه تکرار گردید و پاسخ‌های به‌دست آمده در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

نتیجه‌گیری

روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه متغیرهای فرآیند خشک کردن ترکیبی اسمز- هوای داغ برش‌های قارچ خوراکی با هدف بیشینه کردن خروج آب و جذب مجدد آب و کمینه نمودن جذب ماده جامد و چروکیدگی مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه واریانس و نمودارهای سطحی تاثیر برخی فاکتورها را بر روی پاسخ‌ها نشان دادند. از جمله می‌توان به تاثیر مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی، مقدار سدیم کلرید موجود در محلول و فشار محیط بر روی میزان خروج آب، میزان غلظت سدیم کلرید و ساکارز موجود در محلول بر مقدار جذب ماده جامد و تاثیر مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی بر روی شاخص آبگیری

Drying of Fruit and Vegetable: Technology and Application, *Drying Technology*, 14 (2), 391-413.

Nsonzi, F. (1998). Osmotic dehydration kinetics of blueberries, *Drying Technology*, 16 (3-5), 725-741.

Ochoa-Martinez, C. I., Ramaswamy, H. S. & Ayala-Aponte, A. A. (2007). ANN-Based Models for Moisture Diffusivity Coefficient and Moisture Loss at Equilibrium in Osmotic Dehydration Process, *Drying Technology*, 25 (5), 775-783.

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*, xx: 1-7.

Shukla, B. & Singh, S. (2007). Osmo-convective drying of cauliflower, mushroom and green pea, *Journal of Food Engineering*, 80 (2), 741-747.

Sing, B., Panesar, P. & Nanda, V. (2007). Rehydration Kinetics of Un-Osmosed and Pre-Osmosed Carrot Cubes, *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 2 (1), 10-17.

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.

Torrington, 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.

Zhao, Y. & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing, *Trends in Food Sciences & Technology*, 15, 434-451.

Optimization of Osmo-Convective Drying of Edible Button Mushroom Using Response Surface Methodology

Z. Asghari Beiram ^a, A. R. Bassiri ^{b*}

^a M. Sc. Student of Chemical Engineering, Food Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^b Assistant Professor of Food Science and Technology, Institute of Chemical Technologies, IROST.

6

۷۹

Abstract

Introduction: Response Surface Methodology (RSM) was used to determine the optimum processing conditions that yield maximum water loss, minimum solid gain, maximum rehydration ratio and minimum shrinkage by osmo-convective drying of edible button mushroom.

Material & Methods: Temperature (25-40°C), immersion time (120-300 min), salt concentration (0-15%), sucrose concentration (40-60%), pressure (500-700 mbar) and drying temperature (30-60°C) were the factors investigated with respect to water loss, rehydration ratio, solid gain and shrinkage. Experiments were designed according to Central Composite Design with these six factors each at five different levels.

Results: Applying response surfaces and contour plots, optimum operation conditions were found to be temperature of 39°C, immersion time of 164 min, salt concentration of 14%, sucrose concentration of 53%, pressure of 600 mbar and drying temperature of 40°C.

Conclusion: At the optimum point, water loss, solid gain, rehydration ratio and shrinkage were found to be 63.38 (g/100 g initial sample), 3.17 (g/100 g initial sample), 2.26 and 7.15, respectively. Apart from the optimum condition which provides desirable products, color, texture, flavor and other quality indices might be investigated to produce higher quality products.

Keywords: Button Mushroom, Osmo-Convective Drying, Optimization, Response Surface Methodology.