

## بهینه سازی خشک کردن اسمز - هوای داغ گلابی با استفاده از روش سطح-پاسخ

مجتبی امیری پور<sup>۱\*</sup>، محمد باقر حبیبی نجفی<sup>۲</sup>، محبت محبی<sup>۲</sup>، باقر عمادی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۲۴)

### چکیده

در این تحقیق روش سطح پاسخ برای بهینه سازی شرایط خشک کردن برش های گلابی توسط اسمز-هوای داغ مورد استفاده قرار گرفت. اثر دمای خشک کردن (۵۰-۷۰ درجه سانتی گراد) و زمان خشک کردن (۲۴۰-۳۶۰ دقیقه) به عنوان متغیرهای مستقل بر میزان رطوبت، درصد چروکیدگی و نسبت آبگیری مجدد برش های گلابی به عنوان متغیرهای وابسته (پاسخ) مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل های رگرسیونی به دست آمده برای تمام پاسخ ها از نظر آماری در سطح ۹۹٪ اطمینان معنی دار بودند. تمام متغیرهای فرایند به صورت خطی برای تمام پاسخ ها معنی دار بودند ( $p < 0.01$ ). همچنین عبارت درجه دوم دمای خشک کردن در مورد نسبت آبگیری مجدد معنی دار بود. شرایط بهینه به دست آمده برای حداقل میزان رطوبت و درصد چروکیدگی و حداکثر نسبت آبگیری مجدد عبارت بود از: دمای ۶۰/۳۹ درجه سانتی گراد و زمان خشک کردن ۳۶۰ دقیقه. در شرایط بهینه به دست آمده میزان رطوبت ۲۶/۱۷٪، نسبت آبگیری مجدد ۱/۶۲ و درصد چروکیدگی ۷۷/۳۱٪ بود.

کلید واژگان: برش های گلابی، بهینه سازی، خشک کردن اسمز-هوای داغ، روش سطح پاسخ.

\* مسئول مکاتبات: mo.am62@gmail.com

## ۱- مقدمه

مستقل گوناگون با حداقل زمان آزمایش، اندازه گیری بیشترین فاکتورهای مرتبط و دامنه اثر آن‌ها و همچنین اثرات متقابل فاکتورهای مستقل مورد استفاده قرار گیرد [۷]. تا کنون مطالعات زیادی در زمینه بهینه سازی شرایط فرایندهای مختلف خشک کردن میوه‌ها با استفاده از روش سطح- پاسخ انجام شده است. در پژوهش‌های پژوهی و راماسوامیبهینه سازی خشک کردن دو مرحله‌ای مایکروویو- اسمز و هوای داغ سیب مورد مطالعه قرار دادند. در پژوهشی دیگر نوشاد و همکاران [۷] به بررسی بهینه سازی شرایط خشک کردن هوای داغ میوه به با استفاده از پیش تیمار اسمز-التراسوند پرداختند. تاکنون هیچ پژوهشی در زمینه بهینه سازی خشک کردن ترکیبی اسمز-هوای داغ میوه گلابی با استفاده از روش سطح-پاسخ انجام نشده است. در این تحقیق روش سطح- پاسخ برای بهینه‌سازی شرایط خشک‌کردن اسمز- هوای داغ گلابی مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- آماده سازی نمونه‌ها و آبیگری اسمزی

گلابی مورد نیاز در این تحقیق از بازار محلی مشهد تهیه گردید. میانگین رطوبت اولیه گلابی‌های مورد استفاده  $85 \pm 1/3\%$  بود. گلابی‌های مورد استفاده در آزمایشات پس از پوستگیری با استفاده از یک دستگاه برشزن دستی و قالب گرد استیل به برش‌هایی با ضخامت ۹ میلی متر و قطر ۳۵ میلی متر برش داده شدند. به منظور جلوگیری از واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی برش‌های تهیه شده به مدت ۵ دقیقه در محلول ۱٪ اسیدآسکوربیک و ۰/۲٪ اسیدسیتریک قرار داده می‌شدند [۸]. بهینه سازی شرایط پیش تیمار اسمزی گلابی در تحقیق اولیه مورد بررسی قرار گرفت و اسمز بر اساس شرایط بهینه به دست آمده، انجام گرفت. محلول‌های اسمزی ساکارز با غلظت ۵۰٪ تهیه شدند. برش‌های گلابی در محلول اسمزی درون بشرهای ۱ لیتری غوطه‌ور شده و به مدت ۱۱۴ دقیقه آبیگری اسمزی انجام شد. با استفاده از یک همزن مغناطیسی دمای محلول اسمزی طی آبیگری در ۵۵ درجه سانتی‌گراد و دور همزدن ۳۰۰ دور در دقیقه حفظ

گلابی میوه‌ای از جنس *pyrus* و متعلق به خانواده *Rosaceae* است. گلابی معمولی یا گلابی اروپایی از گونه کامونیس<sup>۱</sup> می‌باشد که میوه‌های آبدار با دانه‌های سنگی و اغلب شکل کشیده دارد، در مناطق معتدل کاشت می‌شود و منشأ آن به نواحی آسیای برمی گردد [۱]. گلابی منبع تغذیه‌ای خوبی از نظرفیبر، ویتامین C، مس و ویتامین K می‌باشد. طبق آمار فائو، در سال ۲۰۱۲ کشور ایران با تولید سالانه ۱۴۷۰۰۰ تن انواع گلابی در رتبه هجدهم تولیدکنندگان این میوه قرار دارد [۲]. روش‌های فراوری گلابی بیشتر شامل تهیه کمپوت، به صورت پوره در تولید آب‌میوه و ماست‌های میوه‌ای و خشک‌کردن می‌باشد. گلابی خشک‌شده می‌تواند به صورت‌های مختلفی از جمله در فراورده‌های نانویی، انواع غذاهای محلی و مصرف به صورت خشکبار مورد استفاده قرار گیرد [۱]. خشک کردن فرایندی شناخته شده است که به میزان زیادی برای نگهداری میوه‌ها به کار برده می‌شود. بعضی از دلایل محبوبیت میوه‌های خشک شده عبارتند از تنوع محصولات، عمر نگهداری طولانی و کم شدن قابل توجه حجم که انبارداری و حمل و نقل آن‌ها را تسهیل می‌کند [۳]. میوه‌ها و سبزی‌ها عمدتاً با روش هوای داغ خشک می‌شوند [۴]. آبیگری اسمزی میوه‌ها و سبزی‌ها با غوطه‌ور کردن آن‌ها در مایعات با فعالیت آبی پایین‌تر نسبت به ماده غذایی انجام می‌شود. با استفاده از آبیگری اسمزی به عنوان پیش تیمار می‌توان آب مواد غذایی را به میزان ۳۰ تا ۷۰٪ محتوی اولیه آن کاهش داد. از جمله مزایای آبیگری اسمزی می‌توان به کوتاه کردن زمان مرحله خشک‌کردن ثانویه به میزان ۶۰٪ و صرفه جویی در مصرف انرژی به میزان ۲۰٪ اشاره کرد [۵]. روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های مشخص آماری برای طراحی آزمایشات، ساخت مدل‌ها، ارزیابی اثرات فاکتورهای مستقل و جست و جو برای تعیین شرایط بهینه رسیدن به پاسخ‌های مطلوب است [۱]. اصول و مبانی روش سطح پاسخ برای اولین بار توسط باکس و ویلسون (۱۹۵۱) بیان شده است [۶]. در آزمایشات چند مؤلفه‌ای، روش سطح پاسخ می‌تواند به منظور آزمون همزمان پارامترهای

1. Communis

برای کاهش جذب مایع توسط نمونه‌ها از تولون به جای آب استفاده شد [۷].

$$Sh = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه  $V_0$  و  $V$  به ترتیب حجم اولیه و حجم نهایی نمونه بودند.

## ۲-۵- اندازه گیری نسبت آبیگری مجدد

برای اندازه گیری نسبت آبیگری مجدد، نمونه‌ها پس از خارج شدن از خشک‌کن و توزین ( $W_0$ ) در درون آب با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند. پس از ۳۰ دقیقه نمونه‌ها از درون آب خارج و سطح خارجی آن‌ها با کاغذ صافی خشک گردید و مجدداً توزین شدند ( $W_1$ ). نسبت آبیگری مجدد ( $RR$ ) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد [۷].

$$RR = \frac{W_1}{W_0} \quad (3)$$

## ۲-۶- طراحی آزمایشات

روش سطح پاسخ برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای فرایند بر میزان رطوبت، درصد چروکیدگی و نسبت آبیگری مجدد برش‌های گلابی به کار برده شد. آزمایشات بر طبق طرح درجه دوم مرکب مرکزی مرکز پر با سه سطح برای هر متغیر انجام شد [۹]. روش سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار Design Expert ویرایش ۶،۰،۲ اجرا گردید.

## ۳- بحث و نتایج

نتایج حاصل از طرح آزمایش مورد استفاده برای بهینه سازی خشک کردن اسمز- هوای داغ در جدول ۱ ارائه شده‌اند. برازش داده‌های به دست آمده برای میزان رطوبت، نسبت آبیگری مجدد و چروکیدگی بر اساس مدل چند جمله‌ای درجه دوم صورت گرفت. پس از برازش مدل، رابطه‌های به دست آمده در معرض الگوریتم حذف پس‌خور قرار گرفتند. با استفاده از الگوریتم مذکور، جملات مدل که از نظر آماری در سطح ۹۵٪ معنی دار نبودند، حذف شدند (مدل درجه دوم کاسته شده).

شد. پس از طی زمان مورد نظر نمونه‌های آبیگری شده از درون محلول اسمزی خارج گردیدند و به منظور حذف محلول اسمزی باقی‌مانده در سطح آن‌ها با آب مقطر شسته، توسط کاغذ صافی خشک و سپس وزن شدند. برش‌های گلابی تهیه شده توسط ترازوی دیجیتال (مدل AND. EK-300i) با دقت ۰/۰۱ گرم، توزین می‌شدند.

## ۲-۲- خشک کردن هوای داغ

خشک کردن هوای داغ نمونه‌ها توسط خشک‌کن کابینتی ساخت شرکت طب سروش انجام پذیرفت. ابعاد خارجی این خشک‌کن به ترتیب ۸۵ سانتی‌متر طول، ۶۵ سانتی‌متر عرض و ارتفاع آن ۱۲۴ سانتی‌متر بود. هوای داغ از قسمت مرکزی خشک‌کن با سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه دمیده می‌شد و دمای خشک‌کن با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد قابل تنظیم بود. ۳۰ دقیقه قبل از شروع آزمایش به منظور رسیدن به شرایط مطلوب خشک‌کن روشن می‌گردید. نمونه‌ها پس از طی مرحله پیش تیمار اسمزی درون سینی خشک‌کن قرار داده شده و در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲۴۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ دقیقه خشک می‌شدند. پس از طی زمان لازم نمونه‌های خشک شده از درون خشک‌کن خارج و وزن آن‌ها توسط ترازو تعیین می‌گردید.

## ۲-۳- اندازه گیری میزان رطوبت

محتوی رطوبتی نمونه‌های خشک شده با روش AOAC ۹۳۱،۰۴ و با استفاده از رابطه ۱ اندازه گیری شد [۷].

$$X_i = \frac{M_i - M_d}{M_d} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه  $X_i$  رطوبت نمونه های گلابی بر پایه خشک (درصد)،  $M_i$  وزن نمونه ها در زمان  $i$  و  $M_d$  وزن نمونه های خشک شده است.

## ۲-۴- اندازه گیری درصد چروکیدگی

برای اندازه‌گیری چروکیدگی، تغییرات حجم نمونه‌ها با استفاده از روش جابجایی مایع تعیین گردید (رابطه ۲). در این پژوهش

جدول ۱ نتایج طرح آزمایش مورد استفاده در خشک کردن اسمز هوای داغ

شماره آزمون	دمای خشک کردن (درجه سانتی گراد)	زمان خشک کردن (دقیقه)	میزان رطوبت (%)	آبگیری مجدد (g/g)	چروکیدگی (%)
۱	۵۰	۲۴۰	۵۳/۱۲	۱/۳۹	۶۰/۰۹
۲	۷۰	۲۴۰	۲۷/۰۵	۱/۵۲	۷۹/۹۹
۳	۵۰	۳۶۰	۳۸/۰۳	۱/۵۰	۷۱/۰۰
۴	۷۰	۳۶۰	۱۲/۱۵	۱/۷۷	۸۸/۰۱
۵	۴۵/۸۶	۳۰۰	۵۱/۲۰	۱/۴۵	۶۰/۱۱
۶	۷۴/۱۴	۳۰۰	۱۶/۵۰	۱/۷۸	۸۶/۰۵
۷	۶۰	۲۱۵/۱۵	۴۲/۰۶	۱/۳۴	۷۰/۹۹
۸	۶۰	۳۸۴/۸۵	۲۵/۴۲	۱/۶۹	۷۵/۶۴
۹	۶۰	۳۰۰	۳۲/۴۴	۱/۵۳	۶۹/۰۴
۱۰	۶۰	۳۰۰	۳۳/۴۲	۱/۵۰	۷۷/۶۲
۱۱	۶۰	۳۰۰	۲۸/۸۶	۱/۵۱	۷۶/۹۶
۱۲	۶۰	۳۰۰	۴۰/۵۳	۱/۴۹	۷۳/۱۸
۱۳	۶۰	۳۰۰	۳۲/۸۰	۱/۵۶	۷۰/۲۱

### ۳-۱- تجزیه مدل برازش یافته

بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۲) مدل درجه دوم کاسته برای میزان رطوبت نهایی از نظر آماری معنی دار بوده ( $p < 0/001$ )، ولی آزمون ضعف برازش آن معنی دار نمی باشد ( $p > 0/05$ ) که نشان دهنده مناسب بودن مدل پس از کاهش دادن تعداد جملات غیر معنی دار آن است. عبارات‌های معنی دار مدل شامل دما (A) و ( $p < 0/001$ ) و زمان خشک کردن (B) و ( $p < 0/001$ ) بودند. مقادیر بالای  $R^2$  و  $R^2_{adjusted}$  بیانگر قدرت بالای مدل در پیش بینی فرایند می باشد.

مدل ارائه شده برای نسبت آبگیری مجدد دارای F معنی دار بود ( $p < 0/001$ ) و از طرفی آزمون ضعف برازش آن معنی دار نشد ( $p > 0/05$ ) که با توجه به این نتایج چنین برداشت می شود که مدل کاسته شده مدلی مناسب می باشد.

عبارت‌های معنی دار مدل شامل دمای خشک کردن (A) و ( $p < 0/001$ )، زمان خشک کردن (B) و ( $p < 0/001$ ) و عبارت درجه دوم دمای خشک کردن ( $A^2$  و  $p < 0/001$ ) بودند (جدول ۳). مقدار  $R^2$  و  $R^2_{adjusted}$  به ترتیب برابر  $0/9501$  و  $0/9335$  بودند که بالا بودن آن‌ها تأییدکننده قدرت بالای مدل می باشد.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، مدل ارائه شده برای میزان چروکیدگی معنی دار می باشد ( $p < 0/001$ ) و آزمون ضعف برازش آن معنی دار نیست ( $p > 0/05$ ) که نشان می دهد مدل کاسته شده، مدلی مناسب می باشد. عباراتی از مدل که معنی دار شده اند شامل دما (A) و ( $p < 0/001$ ) و زمان خشک کردن (B) و ( $p < 0/01$ ) هستند. مقادیر  $R^2$  و  $R^2_{adjusted}$  به ترتیب برابر  $0/8971$  و  $0/8765$  بودند که قدرت بالای مدل را تأیید می کنند.

جدول ۲ تجزیه واریانس (ANOVA) و ضرایب مدل پیشگویی کننده مربوط به میزان رطوبت

منبع	ضرایب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	۳۳/۳۵	۱۶۳۳/۶۴	۲	۸۱۶/۸۲	<۰/۰۰۰۱**
A	-۱۲/۶۳	۱۲۷۵/۵۴	۱	۱۲۷۵/۵۴	<۰/۰۰۰۱**
B	-۶/۶۹	۳۵۸/۱۰	۱	۳۵۸/۱۰	<۰/۰۰۰۱**
باقی مانده		۸۲/۲۴	۱۰	۸/۲۲	
ضعف برازش		۹/۷۳	۶	۱/۶۲	
خطا		۷۲/۵۱	۴	۱۸/۱۳	
R <sup>2</sup>	۰/۹۵۲۱				
Adj-R <sup>2</sup>	۰/۹۴۲۵				
ضریب تغییرات	۸/۶۰				

\*\* معنی دار در سطح ۹۹٪

جدول ۳ تجزیه واریانس (ANOVA) و ضرایب مدل پیشگویی کننده مربوط به نسبت آبیگری مجدد

منبع	ضرایب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	۱/۵۱	۰/۲۰	۳	۰/۰۶۶	<۰/۰۰۰۱**
A	۰/۱۱	۰/۰۹۴	۱	۰/۰۹۴	<۰/۰۰۰۱**
B	۰/۱۱	۰/۰۹۰	۱	۰/۰۹۰	<۰/۰۰۰۱**
A <sup>2</sup>	۰/۰۴۶	۰/۰۱۵	۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶۰**
باقی مانده		۰/۰۱۰	۹	۱/۱۶۲×۱۰ <sup>-۳</sup>	
ضعف برازش		۷/۹۲۱×۱۰ <sup>-۳</sup>	۵	۱/۵۸۴×۱۰ <sup>-۳</sup>	ns ۰/۱۹۷۶
خطا		۲/۵۳۳×۱۰ <sup>-۳</sup>	۴	۶/۳۳۴×۱۰ <sup>-۳</sup>	
R <sup>2</sup>	۰/۹۵۰۱				
Adj-R <sup>2</sup>	۰/۹۳۳۵				
ضریب تغییرات	۲/۲۱				

\*\* معنی دار در سطح ۹۹٪

جدول ۴ تجزیه واریانس (ANOVA) و ضرایب مدل پیشگویی کننده مربوط به درصد چروکیدگی

منبع	ضرایب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	۷۳/۷۶	۷۵۸/۳۲	۲	۳۷۹/۱۶	<۰/۰۰۰۱**
A	۹/۲۰	۶۷۷/۰۲	۱	۶۷۷/۰۲	<۰/۰۰۰۱**
B	۳/۱۹	۸۱/۲۹	۱	۹/۳۵	۰/۰۱۲۱*
باقی مانده		۸۶/۹۶	۱۰	۷/۵۴	
ضعف برازش		۲۷/۲۴	۶	۴/۵۴	
خطا		۵۹/۷۲	۴	۱۴/۹۳	
R <sup>2</sup>	۰/۸۹۷۱				
Adj-R <sup>2</sup>	۰/۸۷۶۵				
ضریب تغییرات	۴/۰۰				

\*\* معنی دار در سطح ۹۹٪  
\* معنی دار در سطح ۹۵٪

### ۳-۲- تأثیر متغیرهای مستقل بر پاسخ‌ها

#### ۳-۲-۱- تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان رطوبت نهایی

مقادیر  $p$  در جدول ۲، نشان می‌دهد که متغیرهای دما و زمان خشک کردن دارای اثر خطی بر میزان رطوبت می‌باشند ( $p < 0/001$ ). همچنین ضرایب مدل تأثیر خطی دما و زمان خشک کردن بر میزان این متغیر را نشان داده است. بنابراین مشخص می‌شود که میزان رطوبت به صورت خطی از دما و زمان خشک کردن تأثیر می‌پذیرد. این روند در شکل رویه پاسخ (شکل ۱)، به خوبی مشهود است و تأییدی بر معنی دار بودن ضرایب خطی مدل می‌باشد. بنابراین و با توجه به منفی بودن علامت ضرایب مدل و همچنین شکل رویه‌ی پاسخ مشاهده می‌شود که ارتباط میزان رطوبت با دما و زمان خشک کردن به صورت معکوس است، بدین معنی که با افزایش دما و زمان خشک کردن، میزان رطوبت کاهش پیدا می‌کند. برخی محققان کاهش میزان رطوبت با افزایش دما و زمان خشک کردن را در بهینه‌سازی خشک کردن هوای داغ زیتون گزارش کردند [۱۰]. به طور کلی دمای بالاتر و زمان فرایند طولانی‌تر برای دستیابی به محتوی رطوبت کمتر ضروری است. نتایج مشابهی در بهینه‌سازی خشک کردن لایه نازک کوروبا<sup>۳</sup> گزارش شده است [۱۱]. از ضرایب مدل (جدول ۲) چنین بر می‌آید که دمای خشک کردن در مقایسه با زمان خشک کردن تأثیر بیشتری در کاهش میزان رطوبت نهایی دارد.

#### ۳-۲-۲- تأثیر متغیرهای مستقل بر نسبت آبگیری مجدد

همان‌طور که از مقادیر  $p$  در جدول ۳ مشخص است، اثرات خطی دما و زمان خشک کردن بر نسبت آبگیری مجدد معنی‌دار هستند ( $p < 0/001$ ). علاوه بر این عبارت درجه دوم دمای خشک کردن نیز معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0/001$ ). در شکل ۲، نمودار رویه بیانگر تأثیر دما و زمان خشک کردن بر نسبت آبگیری مجدد نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که نسبت آبگیری مجدد به میزان زیادی از هر دو متغیر دما و زمان خشک

کردن تأثیر می‌پذیرد. با افزایش دما و زمان خشک کردن نسبت آبگیری مجدد افزایش می‌یابد که این نحوه اثرگذاری مثبت با توجه به ضرایب مدلو نمودار رویه (شکل ۲) مورد تأیید و واضح است. همچنین با در نظر گرفتن معنی‌دار بودن عبارت درجه دوم دمای خشک کردن وجود انحناء در شکل رویه دما مشاهده می‌شود. Vega و همکاران [۱۲] افزایش نسبت آبگیری مجدد با افزایش دمای خشک کردن را به فروپاشی بافت و ایجاد سلول‌های آسیب دیده در دمای بالاتر نسبت داده و بیان کردند که افزایش نسبت آبگیری مجدد در اثر محبوس شدن آب در فضاهای به وجود آمده توسط سلول‌های آسیب دیده است.

#### ۳-۲-۳- تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان چروکیدگی

مقادیر  $p$  در جدول ۴ تأثیر معنی‌دار دمای خشک کردن ( $p < 0/001$ ) و زمان خشک کردن ( $p < 0/001$ ) را به صورت خطی بر میزان چروکیدگی نشان می‌دهند. در شکل ۳ می‌توان روند تأثیرگذاری دما و زمان خشک کردن را بر میزان چروکیدگی مشاهده نمود. از شکل رویه چنین به نظر می‌رسد که رابطه میزان چروکیدگی با دما و زمان خشک کردن به صورت خطی و مستقیم است که این روند توسط معنی‌دار بودن اثرات خطی هر دو متغیر تأیید می‌شود. گزارش شده است که چروکیدگی در محصولات خشک شده به میزان رطوبت و سرعت خشک کردن در مراحل اولیه فرایند خشک کردن بستگی دارد [۹]. بنابراین چروکیدگی بیشتر را می‌توان به سرعت خشک کردن بالاتر و محتوی رطوبت پایین‌تر برش‌های گلابی در دماهای بالاتر طی فرایند خشک کردن نسبت داد.

#### ۳-۳- بهینه‌سازی

شرایط عملیاتی بهینه برای خشک کردن هوای داغ برش‌های گلابی پیش تیمار شده، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی جستجو شد. شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی برای هر یک از متغیرها و پاسخ‌های فرایند در جدول ۵ نشان شده‌اند. نتایج به دست آمده از فرایند بهینه‌سازی نیز در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

جدول ۵ شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی خشک کردن اسمز- هوای داغ

متغیرها/پاسخها	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
دمای خشک کردن (درجه سانتی‌گراد)	داخل محدوده	۵۰	۷۰	۳
زمان خشک کردن (دقیقه)	داخل محدوده	۲۴۰	۳۶۰	۳
میزان رطوبت نهایی (%)	حداقل	۱۲/۱۵	۵۳/۱۲	۳
نسبت آبگیری مجدد (g/g)	حداکثر	۱/۳۴	۱/۷۸	۳
چروکیدگی (%)	حداقل	۶۰/۰۹	۸۸/۰۱	۳

جدول ۶ نتایج به دست آمده برای بهینه‌سازی خشک کردن اسمز- هوای داغ

متغیر مستقل	مقدار	پاسخ	مقدار
دمای خشک کردن (درجه سانتی‌گراد)	۶۰/۳۹	میزان رطوبت نهایی (%)	۲۶/۱۷
زمان خشک کردن (دقیقه)	۳۶۰	نسبت آبگیری مجدد (g/g)	۱/۶۲
		چروکیدگی (%)	۷۷/۳۱

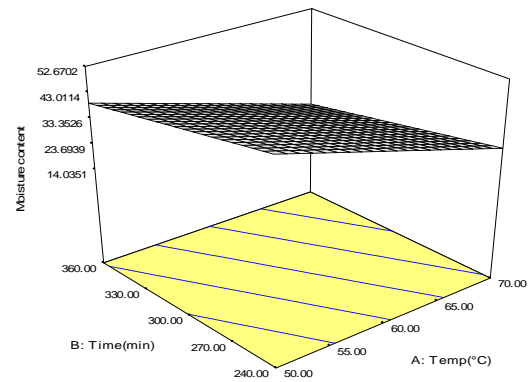
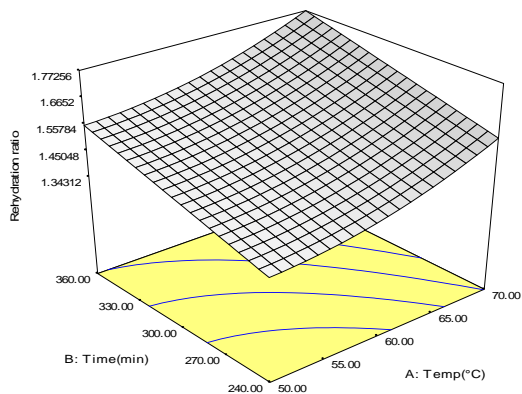
### ۳-۳- آزمون صحت مدل

جهت بررسی کفایت مدل‌های به دست آمده برای پیش بینی هر یک از پاسخ‌ها در شرایط بهینه خشک کردن اسمز-

هوای داغ، آزمون صحت انجام گردید. نزدیک بودن مقادیر به دست آمده از آزمایش‌ها و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل‌ها (جدول ۷)، مناسب بودن مدل در پیش بینی هر یک از پاسخ‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷ مقادیر پیش بینی شده و واقعی پاسخ‌ها در شرایط بهینه خشک کردن اسمز- هوای داغ

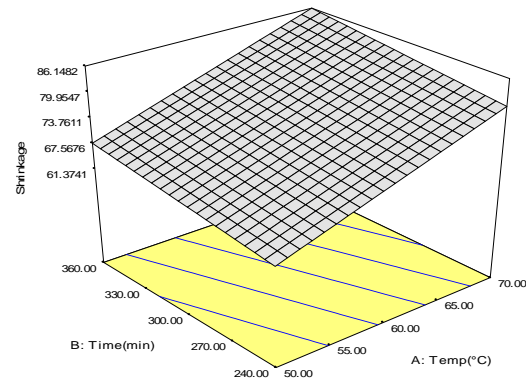
پاسخ	مقدار پیش بینی شده (مدل)	مقدار واقعی (آزمایش)
رطوبت نهایی (%)	۲۶/۱۷	۲۲/۳۵±۲/۶۳
نسبت آبگیری مجدد (g/g)	۱/۶۲	۱/۵۲±۰/۰۶
چروکیدگی (%)	۷۷/۳۱	۷۶/۰۹±۲/۱۳



شکل ۲ نمودار سطحی اثر متقابل دما- زمان بر نسبت آبگیری مجدد

شکل ۱ نمودار سطحی اثر متقابل دما- زمان بر میزان رطوبت نهایی

- osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56(1): 97-103.
- [2] FAO. *Statistical Database*. Available: <http://www.fao.org> 2012; Available from: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>.
- [3] Fumagalli, F. & A.M. Silveira. 2005. Quality evaluation of microwave-dried Packham's triumph pear. *Drying Technology*, 23(9-11): 2215-2226.
- [4] Torringa, E., E. Esveld, I. Scheewe, R. van den Berg & P. Bartels. 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of food engineering*, 49 (2): 185-191.
- [5] González-Martínez, C., M. Cháfer, K. Xue & A. Chiralt. 2006. Effect of the osmotic pre-treatment on the convective air drying kinetics of pear var. Blanquilla. *International journal of food properties*, 9(3): 541-549.
- [6] Ozdemir, M., B.F. Ozen, L.L. Dock & J.D. Floros. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10): 2044-2050.
- [7] Noshad, M., M. Mohebbi, F. Shahidi & S.A. Mortazavi. 2012. Multi-objective optimization of osmotic-ultrasonic pretreatments and hot-air drying of quince using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6): 2098-2110.
- [8] Deng, Y. & Y. Zhao. 2008. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT-Food Science and Technology*, 41(9): 1575-1585.
- [9] Chauhan, A. & A. Srivastava. 2009. Optimizing drying conditions for vacuum-assisted microwave drying of green peas (*Pisum sativum* L.). *Drying Technology*, 27(6): 761-769.
- [10] Erbay, Z. & F. Icier. 2009. Optimization of hot air drying of olive leaves using response surface methodology. *Journal of food engineering*, 91(4): 533-541.
- [11] Corzo, O., N. Bracho, A. Vásquez & A. Pereira. 2008. Optimization of a thin layer drying process for coroba slices. *Journal of food engineering*, 85(3): 372-380.
- [12] Vega-Gálvez, A., R. Lemus-Mondaca, C. Bilbao-Sáinz, P. Fito & A. Andrés. 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.



شکل ۳ نمودار سطحی اثر متقابل دما- زمان بر میزان چروکیدگی

#### ۴- نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شد که تمام مدل‌های رگرسیونی به دست آمده برای تمام پاسخ‌ها از نظر آماری در سطح ۹۹٪ اطمینان معنی دار هستند. با افزایش دما و زمان خشک کردن میزان رطوبت کاهش و نسبت آبیگری مجدد و درصد چروکیدگی افزایش می‌یابد. خشک کردن اسمز-هوای داغ برش‌های گلابی تحت شرایط بهینه دمای ۶۰/۳۹ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۳۶۰ دقیقه منجر به تولید محصولی با میزان رطوبت ۲۶/۱۷٪، نسبت آبیگری مجدد ۲/۲۱ و درصد چروکیدگی ۸۴٪ شد.

نتایج این تحقیق نشان داد که روش سطح پاسخ روشی کارآمد برای بهینه سازی خشک کردن اسمز-هوای داغ گلابی در محدوده دمای ۵۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد، و زمان خشک کردن ۲۴۰-۳۶۰ دقیقه بود.

#### ۵- سپاسگزاری

از حمایتها و زحمات بی شائبه خانم مهندس سلمانی زاده و آقایان مهندس احتیاطی، نوشاد، کمالی و هاشمی که در تمامی مراحل انجام و به ثمر رسیدن این پژوهش همراه و راهنمای اینجانب بودند کمال سپاس را دارم.

#### ۶- منابع

- [1] Park, K.J., A. Binand F. Pedro Reis Brod. 2003. Drying of pear d'Anjou with and without



## Optimization of osmosis-hot air drying of pear using Response Surface Methodology

Amiripour, M.<sup>1\*</sup>, Habibi-Najafi, M. B.<sup>2</sup>, Mohebbi, M.<sup>3</sup>, Emadi, B.<sup>3</sup>

1. M. Sc. of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(Received: 93/3/31 Accepted: 93/8/24)

In this study, Response Surface Methodology (RSM) was used for optimization of the conditions for hot air drying of pear slices with osmosis pretreatment. The effects of two parameters including drying temperature (50-70 °C) and drying time (240-360 minutes) as independent variables on moisture content, shrinkage percentage and rehydration ratio of pear slices as dependent variables (responses) were evaluated. The regression models for all responses were statistically significant at the 99% confidence level and lack of fit was not significant. All process variables had linear effect on all the responses ( $p < 0.01$ ). Also the quadratic term of drying temperature on rehydration ratio was significant. The optimum conditions obtained for minimum moisture content and shrinkage percentage and maximum rehydration ratio were: 39.60 °C as drying temperature and the drying time of 360 minutes. In optimized condition, the moisture content, rehydration ratio and shrinkage percentage of dried pear slices were 26.17%, 1.62 and 77.31 respectively.

**Keywords:** Hot Air; Optimization; Osmosis; Pear Slices; Response Surface Methodology

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: mo.am62@gmail.com