

## بهینه سازی خشک کردن هوای داغ برش های گلابی با روش سطح پاسخ

مجتبی امیری پور<sup>۱</sup>، محمد باقر حبیبی نجفی<sup>۲</sup>، محبت محبی<sup>۳</sup>، باقر عمادی<sup>۴</sup>

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

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

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار، گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

در این تحقیق روش سطح پاسخ برای بهینه سازی شرایط خشک کردن هوای داغ برش های گلابی مورد استفاده قرار گرفت. اثر دمای خشک کردن (۷۰-۵۰ درجه سانتی گراد) و زمان خشک کردن (۲۰-۳۰ 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 و برهمکنش دما و زمان خشک کردن در مورد درصد چروکیدگی معنی دار بودند. شرایط بهینه به دست آمده برای حداقل میزان رطوبت و درصد چروکیدگی و حداکثر نسبت آبگیری مجدد عبارت بود از: دمای ۶۵ درجه سانتی گراد و زمان خشک کردن ۳۷۲ دقیقه. در شرایط بهینه به دست آمده میزان رطوبت ۲۸٪، نسبت آبگیری مجدد ۲/۲۱ و درصد چروکیدگی ۸۴٪ بود.

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

## ۱- مقدمه

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 آسیایی برمی‌گردد (۱). گلابی منبع تغذیه‌ای خوبی برای فیبر، ویتامین C، مس و ویتامین K می‌باشد. طبق آمار فائو (۲۰۰۸) کشور ایران با تولید ۱۱۵۸۱۲ تن انواع گلابی در رتبه بیستم تولیدکنندگان این میوه قرار دارد (۲). روش‌های فراوری گلابی بیشتر شامل تهیه کمپوت، به صورت پوره در تولید آب‌میوه و ماست‌های میوه‌ای و خشک کردن می‌باشد. گلابی خشک‌شده می‌تواند به صورت‌های مختلفی از جمله در فراورده‌های نانویی، انواع غذاهای محلی و مصرف به صورت خشکبار مورد استفاده قرار گیرد. گلابی خشک برای مصرف افراد دیابتی، افراد مسن و کودکان مناسب است (۱). خشک کردن میوه‌ها فرایندی شناخته شده است که به میزان زیادی برای نگهداری آن‌ها 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). طرح‌های آماری ابزارهای قدرتمندی هستند که برای مطالعه اثرات اصلی و برهم‌کنشی متغیرهای متفاوت فرایند بر روی فرایند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در میان این طرح‌های آماری روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های مشخص آماری برای طراحی آزمایشات، ساخت مدل‌ها، ارزیابی اثرات فاکتورها و جست و جو برای شرایط بهینه پاسخ‌های مطلوب است (۵). اصول و مبانی روش سطح پاسخ برای اولین بار توسط باکس و ویلسون (۱۹۵۱) بیان شد (۶). این روش فرایندی است که از تلفیق ریاضی و آمار ایجاد شده است. در آزمایشات چند مؤلفه‌ای روش سطح پاسخ می‌تواند به منظور آزمایش جامع پارامترهای گوناگون با حداقل زمان آزمایشی و اندازه گیری بیشترین فاکتورهای مرتبط و دامنه اثر آن‌ها و همچنین اثرات متقابل میان فاکتورها مورد استفاده قرار گیرد (۷). روش سطح پاسخ روشی به مراتب سریع‌تر و حاوی اطلاعات مفید بیشتری نسبت به روش‌های کلاسیک یک متغیر در یک زمان یا استفاده از طرح‌های فاکتوریل کامل می‌باشد (۶).

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱.۲- آماده سازی نمونه‌ها

گلابی (رقم اروپایی) مورد نیاز از بازار محلی مشهد تهیه گردید. میانگین رطوبت اولیه گلابی‌های مورد استفاده  $87.4 \pm 1.07$  درصد بود. گلابی‌های مصرفی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شده و نیم ساعت قبل از شروع آزمایشات از یخچال خارج می‌شدند. گلابی‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها پس از پوست گیری با استفاده از یک دستگاه برش زن دستی و قالب به برش‌هایی با ضخامت ۹ میلی‌متر و قطر ۳۵ میلی‌متر برش داده شدند. به

<sup>1</sup> communis

منظور جلوگیری از واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی برش‌های تهیه شده به مدت ۵ دقیقه در محلول ۱ درصد اسید آسکوربیک و ۰/۲ درصد اسید سیتریک قرار داده می‌شدند. میزان رطوبت نمونه‌ها با استفاده از روش AOAC ۹۳۱.۰۴ با قرار دادن نمونه‌ها درون آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد (۸).

## ۲.۲- خشک کردن هوای داغ

خشک کردن هوای داغ نمونه‌ها توسط خشک کن کابینتی آزمایشگاهی ساخت شرکت طب سروش انجام پذیرفت. به منظور رسیدن به شرایط مطلوب خشک کن ۳۰ دقیقه قبل از شروع آزمایش روشن می‌گردید. خشک کردن هوای داغ در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۵، ۶ و ۷ ساعت انجام شد. برش‌های گلابی پس از طی زمان خشک کردن از دستگاه خارج شده، توسط ترازوی دیجیتال (مدل AND. EK-300i) وزن می‌شدند.

## ۳.۲- اندازه‌گیری میزان رطوبت

محتوی رطوبتی (MC)<sup>۲</sup> نمونه‌های خشک‌شده (بر اساس وزن مرطوب) با روش AOAC ۹۳۱.۰۴ و با استفاده از رابطه ۱ اندازه‌گیری شد (۸).

$$MC = \frac{M_i - M_d}{M_d} \quad (1)$$

که در این رابطه  $M_i$  وزن نمونه‌ها در زمان  $i$  و  $M_d$  وزن نمونه‌های خشک شده است.

## ۴.۲- اندازه‌گیری نسبت آبگیری مجدد

برای اندازه‌گیری نسبت آبگیری مجدد (RR)<sup>۳</sup>، نمونه‌ها پس از خارج شدن از خشک‌کن و توزین ( $W_d$ ) 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 وزن شدند ( $W_r$ ). نسبت آبگیری مجدد با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (۷).

$$RR = \frac{W_r}{W_d} \quad (2)$$

## ۵.۲- اندازه‌گیری درصد چروکیدگی

برای اندازه‌گیری چروکیدگی (Sh)<sup>۴</sup>، تغییرات حجم نمونه‌ها با استفاده از روش جا بجایی مایع تعیین گردید (رابطه ۲). در این پژوهش برای کاهش جذب مایع توسط نمونه‌ها از تولوئن به جای آب استفاده شد (۷).

<sup>2</sup> Moisture content

<sup>3</sup> Rehydration ratio

<sup>4</sup> Shrinkage

$$Sh = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (3)$$

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

## ۶.۲- طراحی آزمایش‌ها و تجزیه‌های آماری

روش سطح پاسخ برای پیش بینی تأثیر متغیرهای فرایند بر میزان رطوبت، نسبت آبگیری مجدد و درصد چروکیدگی برش‌های گلابی به کار برده شد. در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر<sup>۵</sup> استفاده شد. طرح مرکب مرکزی متداول‌ترین طرح در میان طرح‌های روش سطح پاسخ می‌باشد (۷). متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل دما (درجه سانتی‌گراد) و زمان خشک کردن (دقیقه) و پاسخ‌های اندازه‌گیری شده شامل میزان رطوبت، نسبت آبگیری مجدد و درصد چروکیدگی بودند. حد بالا و پایین محدوده‌ی در نظر گرفته شده به شکل واقعی (غیر کد بندی شده) برای دما ۵۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۴۲۰-۳۰۰ دقیقه بود. سه سطح کد بندی شده برای سه متغیر مستقل به صورت ۱، ۰ و -۱ بود. سطوح متغیرهای مستقل ورودی به شکل کد بندی شده و غیر کد بندی شده در جدول ۱ نشان داده شده است. معادله چند جمله‌ای درجه دوم برازش داده شده با داده‌های آزمایشگاهی برای هر متغیر وابسته به صورت زیر بود (۹):

$$Y_k = B_{k0} + \sum_{i=1}^3 B_{ki}X_i + \sum_{i=1}^3 B_{kii}X_i^2 + \sum_{i=1}^3 B_{kij}X_iX_j \quad (4)$$

که در آن  $Y_k$  = متغیر پاسخ ( $Y_1$  = میزان رطوبت،  $Y_2$  = نسبت آبگیری مجدد،  $Y_3$  = درصد چروکیدگی) و  $X_i$  نشان دهنده متغیرهای مستقل به صورت کد بندی شده است ( $i=1, 2, 3$  که  $A=B$  دما و  $B$  = زمان خشک کردن). همچنین  $B_{k0}$  مقدار پاسخ برازش داده شده در نقطه مرکزی طرح،  $B_{kii}$ ،  $B_{kij}$  به ترتیب ضرایب رگرسیون خطی، درجه دوم و برهمکنش می‌باشند.

جدول ۱: مقادیر کد بندی شده و غیر کد بندی شده متغیرها و سطوح آنها

متغیرهای مستقل	سطوح کد بندی شده	-۱	صفر	+۱
دمای خشک کردن (درجه سانتی‌گراد)	A	۵۰	۶۰	۷۰
زمان خشک کردن (دقیقه)	B	۳۰۰	۳۶۰	۴۲۰

<sup>5</sup> Rotatable central composite design

طرح آزمایشی به کار برده شده به همراه مقادیر مربوط به هر یک از پاسخها در جدول ۲ نشان داده شده است. روش سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت<sup>۶</sup> ویرایش ۶.۰.۲ در مورد داده‌های آزمایشگاهی به کار برده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۱.۳- تجزیه‌های سطح پاسخ

طرح آزمایشی مورد استفاده و مقادیر حاصل از انجام آزمایشات برای هر یک از پاسخها در جدول ۲ ارائه شده است. تجزیه واریانس برای ارزیابی اثرات معنی دار متغیرهای فرایند بر روی هر یک از پاسخها انجام شد. با انجام آنالیز رگرسیون چند متغیره، مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم برای پیش بینی هر یک از پاسخها به دست آمد. برازش داده‌های به دست آمده برای میزان از دست دادن آب، جذب مواد جامد و کاهش وزن بر اساس مدل چند جمله‌ای درجه دوم صورت گرفت. جداول ۳-۵ آنالیز واریانس برازش مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم به داده‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهند. همان طور که مشاهده می‌شود تمام مدل‌های رگرسیونی از نظر آماری در سطح ۹۹٪ اطمینان معنی دارند. اثراتی که معنی دار نبودند ( $p > 0.05$ ) بدون آسیب رسیدن به تسلسل مدل از مدل حذف شدند (۱۰). همچنین آنالیز واریانس نشان داد که ضعف برازش<sup>۷</sup> برای تمامی مدل‌های سطح پاسخ در سطح اطمینان ۹۵٪ بی معنی بود. ضرایب رگرسیونی مدل‌های پیشنهاد شده برای هر پاسخ نیز در جداول ۳-۵ ارائه شده است. همان طور که جداول تجزیه واریانس نشان می‌دهند از نظر آماری تمام متغیرهای فرایند به صورت خطی برای تمام پاسخها معنی دار بودند ( $p < 0.01$ ). علاوه بر این عبارت درجه دوم دمای خشک کردن در مورد نسبت آبیگری مجدد و برهمکنش دما و زمان خشک کردن در مورد درصد چروکیدگی معنی دار بودند. برای شهودی کردن اثر ترکیبی دو متغیر روی هر پاسخ نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ برای هر مدل به عنوان تابعی از دو متغیر رسم شدند (شکل ۱). همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش دما و زمان خشک کردن میزان رطوبت کاهش و نسبت آبیگری مجدد و درصد چروکیدگی افزایش می‌یابند. در مورد میزان رطوبت اربای و ایچیر (۲۰۰۹) به نتایج مشابهی در بهینه سازی خشک کردن هوای داغ برگ زیتون دست یافتند. به طور کلی دمای بالاتر و زمان فرایند طولانی‌تر برای دستیابی به محتوی رطوبت کمتر ضروری‌اند (۱۱). وگا-گالوز و همکاران (۲۰۰۸) افزایش نسبت آبیگری مجدد با افزایش دمای خشک کردن را در خشک کردن فلفل قرمز گزارش کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که دلیل این امر احتمالاً به فروپاشی بافت و ایجاد سلول‌های آسیب دیده توسط دمای بالاتر مرتبط است که به افزایش نسبت آبیگری مجدد در نتیجه محبوس شدن آب در فضاهای ایجاد شده توسط سلول‌های آسیب دیده منجر می‌شود (۱۲). چائوهان و سریوستاوا (۲۰۰۹) بیان کردند که چروکیدگی در محصولات خشک شده در وهله اول به میزان رطوبت و سرعت

<sup>6</sup> Design-Expert

<sup>7</sup> Lack of fit

خشک کردن در مراحل اولیه فرایند خشک کردن بستگی دارد (۱۳). 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.

### ۲.۳- بهینه سازی

شرایط بهینه خشک کردن هوای داغ برش‌های گلابی برای دستیابی به حداقل میزان رطوبت، حداکثر نسبت آبیگری مجدد و حداقل چروکیدگی بررسی شد. شاخص‌ها و محدوده‌های مورد بررسی برای بهینه سازی در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این شاخص‌ها و هدف از بهینه سازی که دستیابی به حداقل میزان رطوبت، حداکثر نسبت آبیگری مجدد و حداقل درصد چروکیدگی بود شرایط فرایند در نقطه بهینه به صورت: دمای خشک کردن ۶۵ درجه سانتی‌گراد، و زمان خشک کردن ۳۷۲ دقیقه به دست آمدند. در این شرایط مقادیر به دست آمده برای هر یک از پاسخ‌ها به ترتیب عبارت بودند از: میزان رطوبت ۰.۲۸٪، نسبت آبیگری مجدد ۲/۲۱ و درصد چروکیدگی ۰.۸۴٪.

جدول ۲: طرح آزمایشی مورد استفاده و مقادیر به دست آمده برای هر پاسخ

شماره آزمون	دما (°C)	زمان (دقیقه)	میزان رطوبت	نسبت آبیگری مجدد	درصد چروکیدگی
۱	۵۰	۳۰۰	۶۸/۵۸	۱/۶۹	۵۹/۵۶
۲	۷۰	۳۰۰	۲۷/۸۴	۲/۱۶	۸۶/۵۲
۳	۵۰	۴۲۰	۵۱/۰۶	۱/۷۷	۷۷/۲۳
۴	۷۰	۴۲۰	۱۲/۲۳	۲/۸۳	۸۸/۹۲
۵	۴۵/۸۶	۳۶۰	۶۵/۷۲	۱/۶۲	۶۷/۶۲
۶	۷۴/۱۴	۳۶۰	۱۲/۴۸	۳/۱۵	۸۸/۴۷
۷	۶۰	۲۷۵/۱۵	۵۹/۱۷	۱/۶۳	۷۲/۰۰
۸	۶۰	۴۴۴/۸۵	۱۶/۶۴	۲/۳۶	۸۵/۷۱
۹	۶۰	۳۶۰	۳۹/۷۰	۱/۷۸	۸۲/۱۰
۱۰	۶۰	۳۶۰	۳۸/۷۲	۲/۰۷	۸۱/۹۷
۱۱	۶۰	۳۶۰	۳۷/۹۳	۱/۸۵	۷۷/۳۹
۱۲	۶۰	۳۶۰	۴۶/۰۷	۱/۸۷	۸۴/۵۷
۱۳	۶۰	۳۶۰	۴۶/۰۳	۱/۸۸	۸۰/۱۱

جدول ۳: تجزیه واریانس (ANOVA) و ضرایب مدل پیشگویی کننده مربوط به میزان رطوبت

منبع	ضرایب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	۰/۴	۰/۴۱	۲	۰/۲۰	<۰/۰۰۰۱**
A	-۰/۱۹	۰/۳۰	۱	۰/۳۰	<۰/۰۰۰۱**
B	-۰/۱۲	۰/۱۱	۱	۰/۱۱	<۰/۰۰۰۱**
باقی مانده		۰/۰۱۸	۱۰	$1/837 \times 10^{-3}$	
ضعف برازش		۰/۰۱۲	۶	$1/980 \times 10^{-3}$	
خطا		$6/49 \times 10^{-3}$	۴	$1/623 \times 10^{-3}$	
R <sup>2</sup>	۰/۹۵۷۰				
Adj-R <sup>2</sup>	۰/۹۴۸۴				
ضریب تغییرات	۱۰/۶۷				

\*\* 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	۱/۹۱	۲/۳۱	۳	۰/۷۷	<۰/۰۰۰۱**
A	۰/۴۵	۱/۶۲	۱	۱/۶۲	<۰/۰۰۰۱**
B	۰/۲۱	۰/۳۵	۱	۰/۳۵	۰/۰۰۴۳**
A <sup>2</sup>	۰/۲۲	۰/۳۴	۱	۰/۳۴	۰/۰۰۴۸**
باقی مانده		۰/۲۲	۹	۰/۰۲۴	
ضعف برازش		۰/۱۷	۵	۰/۰۳۵	
خطا		۰/۰۴۵	۴	۰/۰۱۱	
R <sup>2</sup>	۰/۹۱۳۴				
Adj-R <sup>2</sup>	۰/۸۸۴۵				
ضریب تغییرات	۷/۶۱				

\*\* معنی دار در سطح ۹۹٪

جدول ۳: تجزیه واریانس (ANOVA) و ضرایب مدل پیشگویی کننده مربوط به درصد چروکیدگی

منبع	ضرایب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	۰/۷۹	۰/۰۸۳	۳	۰/۷۷	<۰/۰۰۰۱**
A	۰/۰۸۵	۰/۰۵۸	۱	۱/۶۲	<۰/۰۰۰۱**
B	۰/۰۴۹	۰/۰۱۹	۱	۰/۳۵	۰/۰۰۰۶**
AB	-۰/۰۳۸	$5/831 \times 10^{-3}$	۱	$5/831 \times 10^{-3}$	۰/۰۲۰۹*
باقی مانده		$6/722 \times 10^{-3}$	۹	$7/469 \times 10^{-4}$	
ضعف برازش		$3/875 \times 10^{-3}$	۵	$7/750 \times 10^{-4}$	
خطا		$2/847 \times 10^{-3}$	۴	$7/117 \times 10^{-3}$	
R <sup>2</sup>	۰/۹۲۵۳				
Adj-R <sup>2</sup>	۰/۹۰۰۵				
ضریب تغییرات	۳/۴۴				

\*\* معنی دار در سطح ۹۹٪

\* معنی دار در سطح ۹۵٪

جدول ۴ : شاخص‌ها و محدوده‌های بهینه سازی

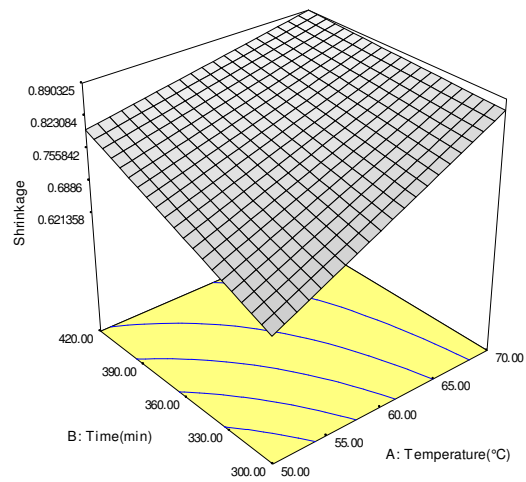
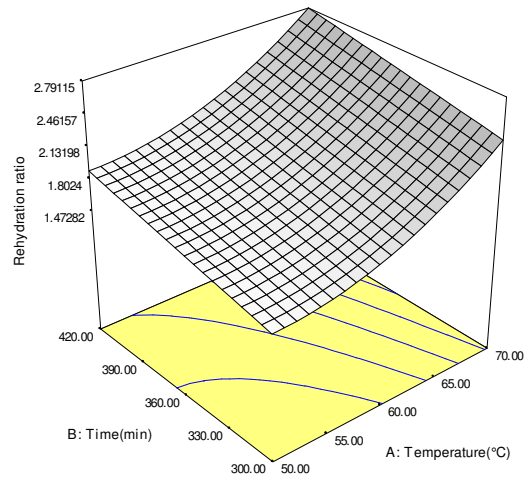
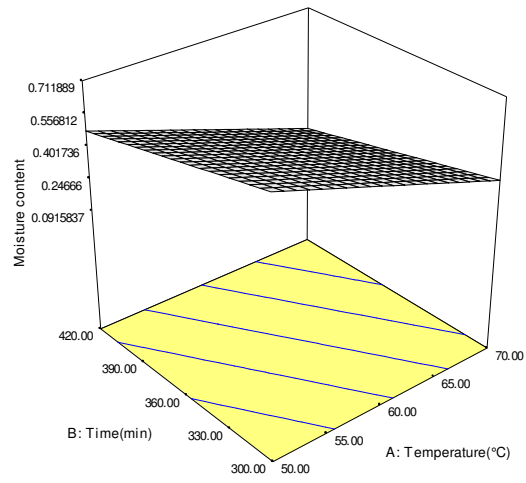
متغیرها/پاسخ‌ها	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
دما(درجه سانتی‌گراد)	داخل محدوده	۵۰	۷۰	-
زمان(دقیقه)	داخل محدوده	۳۰۰	۴۲۰	-
میزان رطوبت	حداقل	۱۲/۲۳	۶۸/۵۸	۳
نسبت آبیگری مجدد	حداکثر	۱/۶۲	۳/۱۵	۳
درصد چروکیدگی	حداقل	۵۹/۵۶	۸۸/۹۲	۳

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که:

- ۱- تمام مدل‌های رگرسیونی به دست آمده برای تمام پاسخ‌ها از نظر آماری در سطح ۹۹٪ اطمینان معنی دارند.
- ۲- با افزایش دما و زمان خشک کردن میزان رطوبت کاهش و نسبت آبیگری مجدد و درصد چروکیدگی افزایش می‌یابند.
- ۳- خشک کردن هوای داغ برش‌های گلابی تحت شرایط بهینه دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۳۷۲ دقیقه منجر به تولید محصولی با میزان رطوبت ۲۸٪، نسبت آبیگری مجدد ۲۱/۲ و درصد چروکیدگی ۸۴٪ شد.
- ۴- روش سطح پاسخ روشی کارآمد برای بهینه سازی خشک کردن گلابی در محدوده دمای ۷۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد، و زمان خشک کردن ۴۲۰-۳۰۰ دقیقه بود.





شکل ۱: نمودار سطح پاسخ مربوط به هر یک از پاسخ‌ها

- 1- Park, K. J., Bin, A., and Brod, F. P. R. 2003. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56(1): 97-103.
- 2- FAO. (2011) <http://faostat.fao.org/>
- 3- Fumagalli, F., Silveira, A. M. 2005. Quality Evaluation of Microwave-Dried Packham's Triumph Pear. *Drying Technology*, 23: 2215-2226.
- 4- Torringa, E., Esveld, E., Scheewe, I., Berg, R., and Bartels, P. 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 49: 185-191.
- 5- Singh Yadav, B., Yadav, B. R., and Jatain, M. 2011. Optimization of osmotic dehydration conditions of peach slices in sucrose solution using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*. Doi: 10.1007/s13197-011-0298-z.
- 6- Ozdemir, M., Ozen B., Dock L., and Floros, J. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *Food Science and Technology*, 41: 2044-2050.
- 7- Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., and Mortazavi, S.A. 2011. Multi-Objective Optimization of Osmotic-Ultrasonic Pretreatments and Hot-Air Drying of Quince Using Response Surface Methodology. *Food Bioprocess Technology*. Doi: 10.1007/s11947-011-0577-8.
- 8- Mitra P., and Meda V. 2009 Optimization of microwave-vacuum drying parameters of Saskatoon berries using response surface methodology. *Drying Technology*, 27:1089-1096.
- 9- Singh Yadav, B., Yadav, B. R., and Jatain, M. (2011). Optimization of osmotic dehydration conditions of peach slices in sucrose solution using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*. Doi: 10.1007/s13197-011-0298-z.
- 10- Eren, I., and Kaymak-Ertekin, F. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 79: 344-3522.
- 11- Erbay Z., and Icier F. 2009. Optimization of hot air drying of olive leaves using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 91: 533-541.
- 12- Vega-Galvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sainz, C., and Fito, P., Andres, A. 2008. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, 85: 42-50.
- 13- Chauhan, A., and Srivastava, A. 2009. Optimizing drying conditions for vacuum-assisted microwave drying of green peas (*Pisum sativum* L.). *Drying Technology*, 27: 6, 761-769.

## **Optimization of Hot Air Drying of Pear Slices Using Response Surface Methodology(RSM)**

### **Abstract**

In this study response surface methodology was used for optimization of hot air drying of pear slices. The effect of drying temperature (50-70°C) and drying time (300-420 min) as independent variables were investigated on the moisture content (MC), rehydration ratio (RR) and shrinkage (Sh) of pear slices as the dependent variables (responses). The regression models were significant for all responses at 99% confidence level. The linear effects of all responses and also quadratic effect of drying temperature in RR and interaction effect of drying temperature and drying time in Sh were significant ( $p < 0.01$ ). The optimum hot air drying conditions for minimum MC, maximum RR and minimum Sh were 65°C temperature, and 372 min drying time. At this optimum point MC, RR and Sh were found to be 28%, 2.21 and 84%, respectively.

**Keywords:** Hot air Drying, Pear slices, Optimization, Response surface methodology.