



## بهینه‌سازی خشک کردن ترکیبی (اسمزی-هوای داغ) ورقه‌های آلون‌ورا با روش سطح پاسخ آی ناز قورچایی<sup>۱</sup>، راحیل رضایی<sup>۱\*</sup>، معصومه مقیمی<sup>۲</sup>

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران

۲- گروه شیمی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

هدف از این مطالعه تولید ورقه آلون‌ورا خشک به روش خشک کردن اسمزی- هوای داغ و بررسی اثرات این روش بر بافت، رنگ، چروکیدگی، بازجذب آب و فعالیت آبی بود. متغیرهای مورد مطالعه شامل زمان پیش پخت (۵، ۷ و ۱۰ دقیقه)، زمان خشک کردن (۸، ۱۰ و ۱۲ ساعت) و دمای خشک کردن (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد)، با روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با شش تکرار در نقطه مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش دما تا ۵۰ درجه سانتی گراد موجب افزایش سختی بافت گردید اما افزایش بیش‌تر دما، سختی نمونه‌ها را کاهش داد. میزان باز جذب رطوبت متأثر از دمای فرآیند خشک کردن بود به طوری که با افزایش دما، میزان بازجذب رطوبت در نمونه‌ها افزایش یافت و این در حالی است که زمان فرآیند پیش‌پخت و خشک کردن تأثیری بر میزان این پارامتر نداشت. هیچ یک از متغیرهای مستقل مورد مطالعه، تأثیر معناداری بر میزان فعالیت آبی محصول نداشتند. نتایج بهینه سازی فرآیند نشان داد که پیش پخت ورقه آلون‌ورا به مدت ۱۰ دقیقه، حرارت دهی در دمای ۵۳/۹۳ درجه سانتی گراد به مدت ۸ ساعت موجب تولید محصولی با بهترین کیفیت می‌گردد.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۱۶

کلمات کلیدی:

آلون‌ورا،

خشک کردن اسمزی،

خشک کردن هوای داغ،

بافت

DOI: 10.22034/FSCT.20.144. 1

DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.144.1.5

\*مسئول مکاتبات:

rezaei.rahil@yahoo.com

## ۱- مقدمه

عدم وجود صنایع تبدیلی برای فرآوری محصولات باغی باعث می‌شود که کشاورزان محصول خود را به صورت خام و با نازلترین قیمت به فروش برسانند. در بین روش‌های مختلف فرآوری، فرآیند خشک کردن به دلیل افزایش دما، کاهش وزن و حجم و سهولت حمل و نقل و انبارداری محصولات باغی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در گذشته، از انرژی‌های غیرکنترل شده طبیعی همچون آفتاب و باد و در حال حاضر از دستگاه‌های جدید قابل کنترل برای خشک کردن محصولات استفاده می‌شود. هدف نهایی فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی، کاهش ضایعات و افزایش ماندگاری محصول است [۱]. اساس خشک کردن مواد غذایی، بر مبنای حذف آب با استفاده از نیروی انتقال حرارت برای تبخیر یا تصعید آب استوار می‌باشد. در تمامی روش‌های خشک کردن، میزان آب در ماده غذایی با هدف کاهش فعالیت آب ماده غذایی کاهش می‌یابد تا طول عمر نگهداری افزایش یابد [۲].

خشک کردن اسمزی از انواع روش‌های خشک کردن است که قسمتی از آب محصول با غوطه‌ور کردن آن در یک محلول غلیظ حذف می‌گردد و نیروی محرکه لازم برای انتشار آب از بافت ماده غذایی به محلول اسمزی، اختلاف بین فشار اسمزی محلول هیپرتونیک است و می‌تواند به عنوان یک مرحله مستقل یا در ترکیب با سایر فرآیندها بکار گرفته شود [۳]. خشک کردن اسمزی یکی از بهترین فرآیندها برای حفظ مواد غذایی به مدت طولانی است چرا که باعث بهبود کیفیت از نظر رنگ، بافت، طعم، ثبات محصول، حفظ مواد مغذی و جلوگیری از فساد میکروبی می‌شود. کیفیت نهایی محصول تحت تأثیر عواملی مانند پیش تیمار، ماهیت و غلظت محلول اسمزی، کیفیت مواد اولیه، بلوغ میوه‌ها، شکل و اندازه برش-ها، مدت زمان اسمز، نسبت نمونه به شربت، همزدن، دما و

مواد افزودنی قرار می‌گیرد. خشک کردن اسمزی برای موز، جک فروت، ساپوتا، انبه، گواوا و آناناس به طور بسیار موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است [۳]. در زمینه روش‌های خشک کردن انواع میوه و سبزیها، مطالعات زیادی صورت گرفته است. از خشک کردن اسمزی به عنوان روش پیش تیمار در خصوص فرآوری سیب درختی قبل از خشک کردن انجمادی استفاده شده و مشخص شده است که با استفاده از این تکنیک می‌توان ویژگی‌های حسی و بافتی را بهبود بخشید و از قهوه‌ای شدن آنزیمی جلوگیری کرد. مطالعات اندکی در مورد خشک کردن آلوئه-ورا با روشهایی غیر از روش مورد بررسی این مقاله، انجام شده است. توریس و همکاران [۴] به مطالعه حفظ بافت آلوئه‌ورا در فرآیند خشک کردن پاششی پرداختند. آنها رفتار رئولوژیکی موسیلاژ را به عنوان تابعی از غلظت، دما، pH و قدرت یونی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ویسکوزیته به قدرت یونی وابسته است و این وابستگی هنگامی که از کاتیون‌های دو ظرفیتی استفاده شود، بیشتر خواهد شد و شرایط بهینه برای استفاده از خشک‌کن پاششی، درجه حرارت ورودی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت اتمایزر ۲۷۵۰۰ دور در دقیقه و سرعت جریان ورودی ۱/۵ لیتر در ساعت تخمین زده شد. شریفی و همکاران [۵] و حاتمی باویل و همکاران [۶] هم پارامترهای دیگری از خشک کردن اسمزی مثل تاثیر نسبت محلول به ژل، فرآیند اولتراسوند را مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه، تا کنون مطالعه‌ای در ارتباط با خشک کردن ترکیبی اسمزی-هوای داغ آلوئه ورا انجام نگرفته است. بنابراین این مقاله قصد دارد تاثیر زمان پیش پخت، زمان و دمای خشک کردن ورقه آلوئه‌ورا را در روش خشک کردن اسمزی- هوای داغ مورد بررسی قرار دهد.

## ۲- مواد و روشها

## ۱-۲- آماده سازی آلوه ورا

برگ تازه آلوه ورا (*Aloe vera Barbadosensis*) بر اساس تازگی، رسیدگی و شکل، به طور یکسان از شهرستان گنبدکاووس انتخاب و خریداری شد. برگها تا زمان خشک کردن و انجام آزمونها، در یخچال نگهداری گردید. در شروع کار، پس از شستشو و آبکشی آلوه ورا، بافت اپیدرم (پوست سبز رنگ) از ژل جدا گردید. سپس ژل به صورت ورقه های مربعی برش داده شد.

## ۲-۲- پیش پخت آلوه ورا

ژل آلوه ورا به دست آمده از مرحله قبل را به مدت زمان مشخص (طبق تیمارهای مشخص شده در جدول ۱) در آب جوش ریخته و اجازه داده شد تا طعم نامطلوب آلوه ورا به طور کامل خارج شود.

## ۲-۳- آب گیری اسمزی با استفاده از محلول شکر

جهت انجام پیش تیمار اسمزی، از روش بهینه سازی شده توسط شریفی و همکاران [۵] استفاده شد. بدین ترتیب که

نمونه ها در مدت زمان مشخص در محلول اسمزی تهیه شده از شکر در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد با بریکس ۳۱ و نسبت نمونه به محلول ۱ به ۷/۵ قرار داده شده تا مرحله از دست دادن رطوبت و جذب مواد جامد محلول به طور کامل سپری گردد.

## ۲-۴- خشک کردن با استفاده از هوای داغ

ورق های آلوه ورا آبداری شده به روش اسمزی، تا رسیدن به بافت و رطوبت مطلوب در خشک کن هوای داغ قرار گرفتند. مدت زمان خشک کردن (۸ تا ۱۲ ساعت) و دمای خشک کردن (۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد) به عنوان متغیر در نظر گرفته شد (جدول ۱).

Table 1- Experimental treatments determined by design expert

treatment	Precooking time (min)	Temperature ( )	Time (h)
1	10	40	12
2	7.5	60	10
3	10	40	8
4	5	40	12
5	10	50	10
6	7.5	50	10
7	7.5	50	8
8	7.5	40	10

9	7.5	50	10
10	10	60	12
11	7.5	50	10
12	5	60	12
13	5	40	8
14	5	60	12
15	5	40	8
16	7.5	50	10
17	7.5	50	10
18	7.5	50	12
19	10	60	8
20	5	60	8

جهت اندازه گیری فعالیت آبی از دستگاه aw متر (Novasina) استفاده شد. نمونه داخل صفحه مخصوص دستگاه قرار گرفت و بعد از گذشت ۱۰ دقیقه، میزان فعالیت آبی در نمایشگر دستگاه مشخص گردید [۸].

#### ۷-۲- اندازه‌گیری رطوبت

جهت اندازه‌گیری رطوبت، پلیت به مدت ۳۰ دقیقه در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد گذاشته شد و بعد از رسیدن به وزن ثابت، توزین گردید. ۲ گرم از نمونه به پلیت منتقل شد و به مدت تقریباً ۳ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتی-گراد قرار داده شد. بعد از رسیدن به وزن ثابت و سرد شدن، نمونه توزین شده و طبق فرمول زیر میزان رطوبت محاسبه شد [۹].

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{درصد رطوبت} = \frac{M1 - M2}{M0} \times 100$$

که در این رابطه:  $M_1$  وزن ظرف و نمونه قبل از خشک کردن،  $M_2$  وزن ظرف و نمونه بعد از خشک کردن و  $M_0$  وزن نمونه می‌باشد.

#### ۸-۲- تعیین حجم و چروکیدگی

اندازه‌گیری حجم به روش پیکنومتری انجام گرفت [۱۰]. به این منظور، وزن پیکنومتر خالی ( $W_p$ ) و پر شده با سیال

#### ۵-۲- ارزیابی بازجذب آب

جهت بررسی توانایی جذب آب نمونه‌ها، از روش غوطه-ورسازی در آب مقطر استفاده شد. یک گرم از نمونه‌های خشک در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای ۱۰۰ در فواصل زمانی مشخص غوطه‌ور شد. نمونه‌ها از آب مقطر خارج شده و پس از حذف رطوبت سطحی به کمک کاغذ صافی، توزین شدند. برای این منظور، در ابتدا به دلیل اینکه دبی جذب بالاست، زمان‌ها کوتاه در نظر گرفته شدند. این عمل آنقدر ادامه داشت تا تغییر وزنی نمونه‌ها به حداقل رسیده و تقریباً ثابت شد. این نقطه را نقطه نهایی و درصد آب جذب شده، حداکثر قابلیت ماده برای جذب آب در نظر گرفته شد [۷]. جهت محاسبه میزان بازجذب آب رابطه زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{میزان بازجذب آب} = \frac{W_r}{W_d}$$

که در آن  $W_r$  و  $W_d$  به ترتیب وزن نمونه ی خشک شده بعد از جذب آب و قبل از آن می‌باشد.

#### ۶-۲- ارزیابی فعالیت آبی

حجم نمونه  $V_t$  درصد چروکیدگی،  $S$  که در این رابطه: حجم اولیه نمونه می‌باشد.  $V_0$  پس از خشک شدن و

## ۲-۹- تعیین ویژگی های بافتی

تعیین ویژگی های بافتی طبق پیشنهاد شرکت سازنده دستگاه بافت سنج (میکرواستبل سیستم، UK) با آزمون تجزیه و تحلیل پروفیل بافت (TPA) انجام شد. به این منظور، از یک پروب سیلندری با قطر ۲۰ میلی متر استفاده شد. پروب از ۱۰ میلی متر بالای سطح نمونه حرکت خود را آغاز کرده و سرعت حین آزمون ۵ میلی متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. دو سیکل منحنی فشرده سازی مطابق با شکل ۱ به دست آمد و پارامترهایی مثل سفتی، چسبندگی، انسجام و قابلیت جویدن از آن استخراج گردید.

دارای دانسیته مشخص ( $W_{pf}$ ) ثبت می‌شود. سپس پیکنومتر کاملا خالی و خشک شده و تکه های آلوئه ورا در آن ریخته و دوباره توزین می‌گردد ( $W_{ps}$ ). در مرحله بعد، پیکنومتر حاوی آلوئه ورا و سیال وزن می‌شود ( $W_{pfs}$ ). در نهایت از رابطه زیر حجم محاسبه می‌گردد:

$$V_s = \frac{(W_{pf} - W_p) - (W_{pfs} - W_{ps})}{\rho F}$$

رابطه (۳)

جهت اندازه گیری چروکیدگی، حجم اولیه نمونه ها و حجم نهایی نمونه که با استفاده از روش جابجایی مایع به دست آمده را در رابطه زیر قرار داده و مقدار چروکیدگی محاسبه می‌گردد:

$$S = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) * 100$$

رابطه (۴)

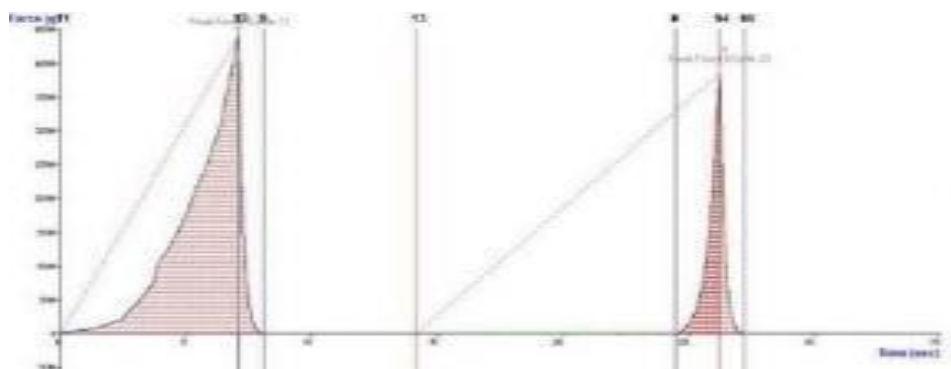


Figure 1- Sample typical force-time diagram for texture profile analysis (TPA) test

در ارزیابی رنگ ایجاد نکنند. عکس نمونه ها به نرم افزار منتقل و پارامترهای  $L^*$  (روشنایی)،  $b^*$  (زردی-آبی) و  $a^*$  (قرمزی- سبزی) از آن استخراج شد [۱۱].

## ۲-۱۰- رنگ

رنگ نمونه های خشک شده با کمک نرم افزار  $Imag J$  مورد ارزیابی قرار گرفت. عکس برداری در یک محفظه مجهز به لامپهای LED انجام گرفت. شرایط عکس برداری به گونه ای فراهم گردید که نورهای محیطی مزاحم اختلالی

۱۱-۲- ارزیابی حسی

مقایسه تیمارهای مختلف به منظور سنجش ویژگی‌های حسی مورد نظر توسط ده نفر ارزیاب آموزش‌دیده انجام شد و از آنها خواسته شد نمونه‌ها را از نظر رنگ، بو، ظاهر، طعم، بافت و پذیرش کلی با روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (امتیاز ۵ عالی و امتیاز ۱ خیلی بد) ارزیابی نمایند [۱۲].

۳- نتایج و بحث

۱-۳- تغییرات بازجذب آب

قابلیت جذب آب یک شاخص کیفیت برای ماده غذایی خشک است، لذا آن دسته از مواد غذایی که تحت شرایط

بهینه خشک می‌شوند، صدمه کمتری دیده و سریع‌تر آب جذب می‌کنند. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، میزان باز جذب رطوبت متاثر از دمای خشک کردن بود ( $p < 0.05$ ). به طوری که با افزایش دما، میزان بازجذب رطوبت در نمونه‌ها افزایش یافت این در حالی است تغییر زمان پیش پخت و خشک کردن تاثیری بر میزان این پارامتر نداشت. افزایش زمان پیش پخت و زمان خشک کردن در دماهای پایین، به میزان ناچیزی موجب افزایش بازجذب رطوبت شد ( $p > 0.05$ ).

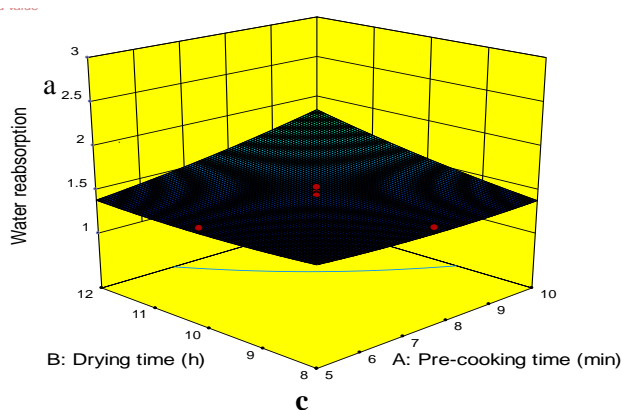
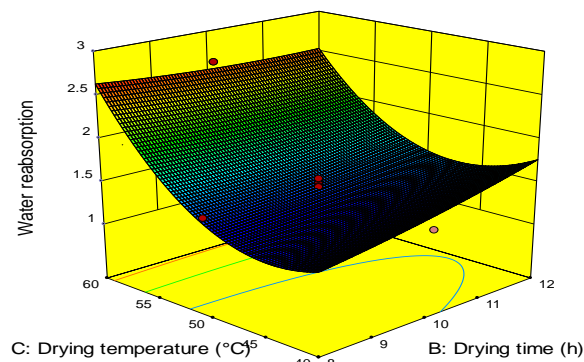
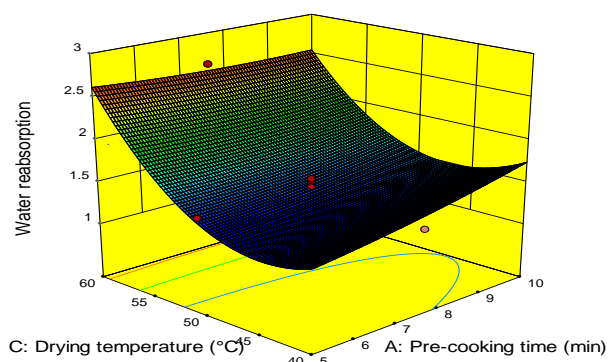


Figure 2- Effect of a) drying temperature and pre-cooking time, b) drying temperature and time, and c) pre-cooking time and drying time on water reabsorption

افزایش بازجذب آب نمونه‌ها شده است. طی خشک کردن تغییرات جبران ناپذیری مانند تغییرات بافت،

پیش تیمار اسمزی به دلیل کاهش زمان خشک کردن و در نتیجه صدمه کمتر به ساختار ماده غذایی، موجب

مهاجرت مواد محلول وافت مواد فرار در محصول ایجاد می‌شود. گرما الاستیسیته دیواره سلول را کاهش داده و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب محصول خشک شده کاهش می‌یابد. میوه‌ها و سبزی‌ها در فضای داخل سلولی مقدار زیادی هوا دارند که در طول تبخیر رطوبت و در اثر چروکیدگی این هوا می‌تواند خارج شود که تمام این عوامل در تخلخل داخلی محصول تأثیر می‌گذارند [۱۳]. افزایش میزان بازجذب نشانگر کیفیت بهتر محصول طی خشک کردن و آسیب کمتر به بافت برش‌های میوه می‌باشد. فنگ و تانگ [۱۴] بیان کردند که ویژگی‌های آبیگری مجدد محصولات خشک شده بیانگر تغییرات فیزیکی و شیمیایی آن طی فرآیند خشک کردن بوده و می‌تواند تابعی تحت تأثیر شرایط فرآوری، پیش تیمار و ترکیب نمونه قرار گیرد. کاهش میزان بازجذب آب در پیاز خشک شده با روش ترکیبی اسمز- هوای داغ نسبت به نمونه‌های خشک شده با روش هوای داغ توسط پاتیل و همکاران [۱۵] نیز گزارش شده است. میزان بازجذب آب در نمونه‌های پیاز اسمز شده به دلیل ممانعت نمک در برابر نفوذ آب، کمتر از نمونه‌های اسمز نشده بوده است. در مقابل مطالعه ایوبی و بلوردی [۱۶] نشان داد که قدرت بازجذب آب در ورقه‌های پیاز خشک شده با حضور ساکارز در محلول اسمزی، افزایش یافته است.

### ۳-۲- تغییرات فعالیت آبی

فعالیت آبی پارامتر مهمی در طول مدت زمان نگهداری پودرها و مواد خشک است. فعالیت آبی پایین به دلیل این که باعث کاهش آب در دسترس میکروارگانیسم‌ها (آب آزاد) واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شود، در نتیجه زمان ماندگاری را افزایش می‌دهد. [۱۷]. فعالیت آبی وابسته به دما است. تغییر دما به علت تغییر در آب متصل، گسستگی آب و حلالیت مواد حل شده در آن موجب تغییر در فعالیت آبی می‌شود [۱۸]. کاهش فعالیت آبی با افزایش دما از طرفی می‌توان به دلیل کاهش رطوبت نمونه‌ها در دماهای بالاتر دانست زیرا ساختار متخلخل‌تر است و این امر کاهش رطوبت در دماهای بالاتر را تسریع می‌کند، از سوی دیگر با افزایش دما به دلیل باز شدن و تغییر ساختار پروتئین‌ها توانایی نگهداری آب باند شده آن‌ها کاهش می‌یابد که خود بر کاهش فعالیت آبی تأثیرگذار است [۱۹]. هیچ یک از متغیرهای مستقل مورد مطالعه تأثیر معناداری بر میزان فعالیت آبی محصول نداشت و تنها توان دوم دمای فرآیند خشک کردن به میزان قابل توجهی بر این ویژگی تأثیر داشت ( $p < 0.05$ ). به گونه‌ای که با افزایش دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد فعالیت آبی کاهش یافت (شکل ۳). میزان این خصوصیت به میزان ناچیزی با افزایش زمان پیش پخت و خشک کردن ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت ( $p > 0.05$ ).

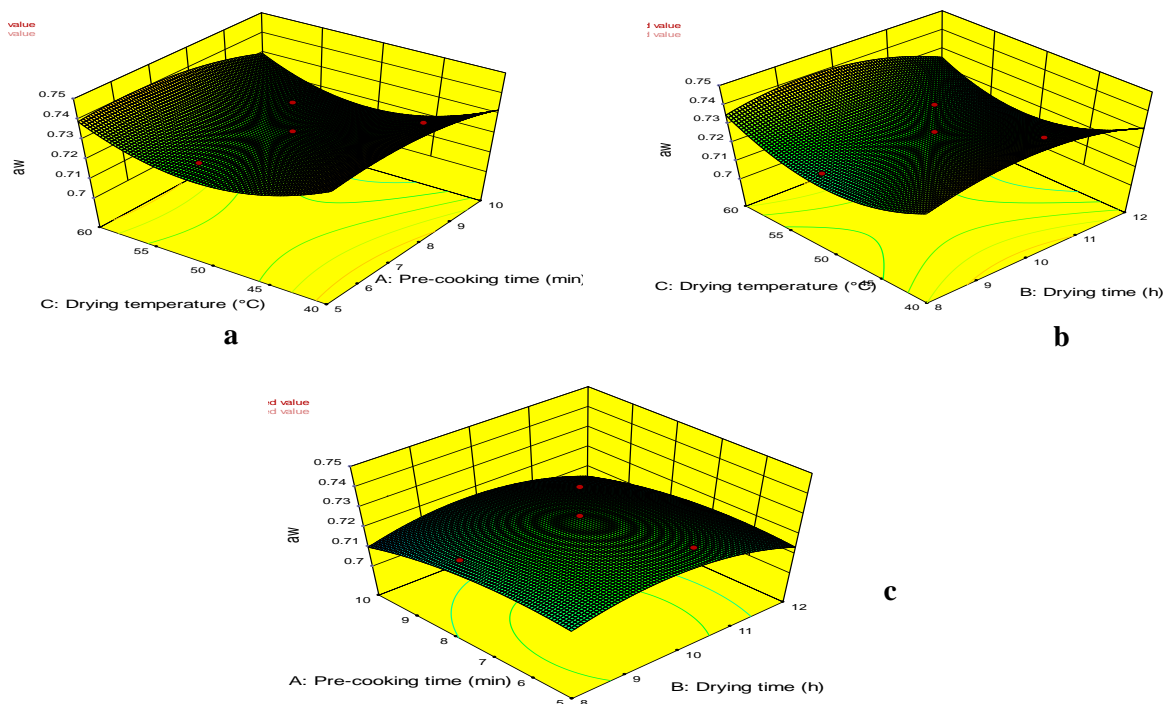


Figure 3- The effect of a) drying temperature and pre-cooking time, b) drying temperature and time and c) pre-cooking time and drying time on water activity

استفاده از دماهای متفاوت در خشک کردن باعث تغییر در چروکیدگی نمونه‌ها گردید ( $p < 0.05$ ). این در حالی است که زمان پخت مقدماتی و زمان فرآیند خشک کردن تاثیری بر میزان این ویژگی نداشت. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، افزایش دما ابتدا موجب افزایش و سپس موجب کاهش چروکیدگی نمونه‌ها شد (شکل ۴). این در حالی است که در میزان چروکیدگی نمونه با تغییر زمان پخت و زمان فرآیند خشک کردن تغییر چشمگیری مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ).

۴- پورمهدی و همکاران [۲۰] در بهینه سازی تولید پودر پوره سیب زمینی به روش خشک کردن کف پوشی، نتایج مشابهی را گزارش کردند.

### ۳-۳- تغییرات چروکیدگی

چروکیدگی بافت شاخصی است که به طور مستقیم میزان جذب مجدد آب توسط محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اگر میزان تخریب سلولی کم باشد آبداری مجدد مقدار بسیار بالایی خواهد داشت [۲۱]. مطابق جدول مدل چندجمله‌ای درجه دوم جهت پیش بینی تاثیر شرایط فرآیند بر چروکیدگی نمونه‌ها، پیشنهاد شد. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز آماری،



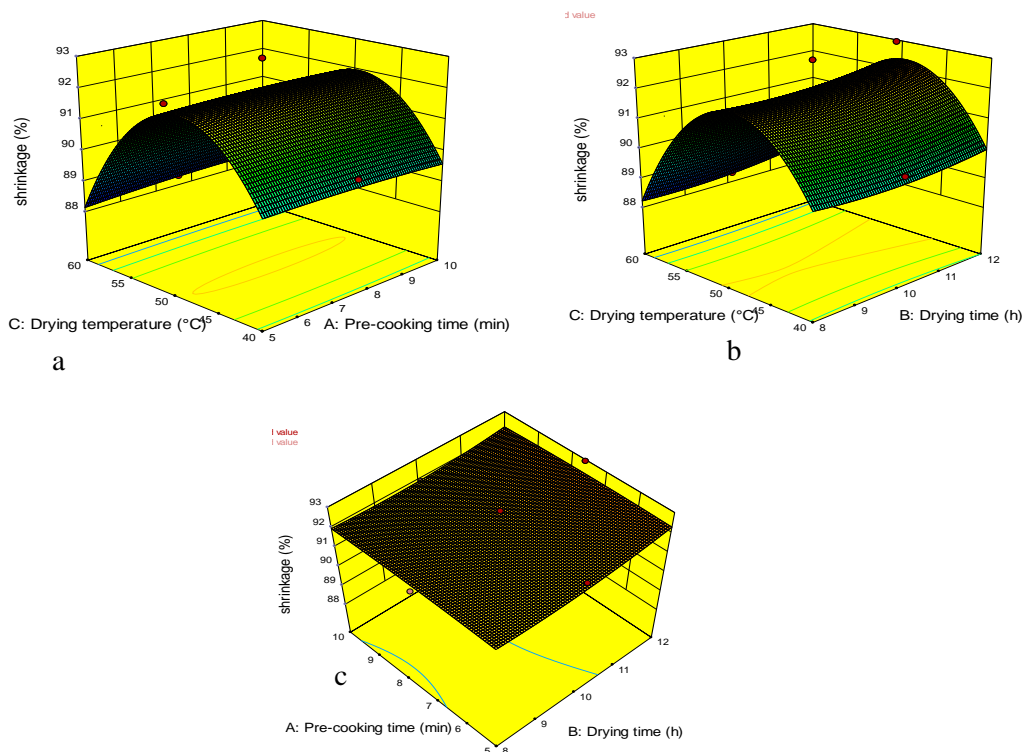


Figure 4 - The effect of a) drying temperature and pre-cooking time, b) drying temperature and time and c) pre-cooking time and drying time on shrinkage

مراحل انتهایی خشک کردن کاهش می‌یابد. چروکیدگی محصولات طی خشک شدن در انتشار رطوبت و هدایت حرارتی، به ویژه در مراحل آخر تأثیر دارد. نسبت خشک شدن نیز با افزایش تخلخل، افزایش می‌یابد. شدت چروکیدگی به نوع محصول بستگی دارد. همچنین شرایط خشک کردن تأثیر بسیاری در تغییرات ساختمانی دارد. بافت میوه و سبزی محتوی مقادیر زیادی حباب هوا در فضاهای بین سلولی است که هر قدر شدت خروج حباب‌ها از درون بافت بیشتر باشد، میزان چروکیدگی محصول بیشتر خواهد بود. تبخیر رطوبت نیز موجب چروکیدگی محصول می‌شود

در واقع چروکیدگی، با افزایش دمای سطح و مهاجرت مواد جامد محلول به سطح نمونه و تبخیر آن صورت می‌گیرد. این در نتیجه تغییرات فیزیکی و شیمیایی در سطح رخ می‌دهد و پس از آن بافت تخریب می‌گردد و با افزایش دما و تشکیل ساختار باز رطوبت به بیرون منتقل می‌شود. دلیل دیگر برای چروکیدگی، تخریب بافت است به این صورت که دیواره سلولی تخریب و مقاومت در برابر رطوبت درون نمونه کاهش می‌یابد و آب بیشتری از دست می‌رود [۲۲]. چروکیدگی با میزان رطوبت جدا شده ارتباط دارد که در

شد که نمونه‌های اسمزی، کمتر صدمه دیده و میزان چروکیدگی کمتری طی خشک کردن تکمیلی در آن‌ها به وجود آمده است [۲۷].

### ۳-۴- ارزیابی بافت

بافت مواد غذایی و محصولات کشاورزی به عنوان یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی محصول، نقش مهمی در پذیرش کلی مصرف کنندگان و خریداران محصولات کشاورزی دارد. طبق تعریف، سختی بافت حداکثر نیروی لازم طی آزمون فشاری و نیروی لازم برای ایجاد گسیختگی و شکست اولیه در بافت می‌باشد و هر دوی این پارامترها را می‌توان طی یک آزمون فشاری تعیین نمود. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز آماری، می‌توان بیان نمود که تنها دمای خشک‌کردن و توان دوم آن به طور معناداری موجب تغییر سختی محصول شد ( $p < 0.05$ ). همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، افزایش دما تا میزان ۵۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش سختی بافت گردید اما افزایش بیش‌تر دما، موجب کاهش سختی نمونه‌ها شد (شکل ۵). سختی نمونه‌ها با افزایش زمان پیش پخت ابتدا به میزان ناچیزی کاهش و سپس افزایش یافت ( $p > 0.05$ ). افزایش زمان خشک کردن نیز موجب افزایش سختی نمونه شد ( $p > 0.05$ ).

زیرا طی خشک شدن آب بین سلولی به طور مرتب جدا می‌شود و هوا جایگزین آن می‌گردد. در نتیجه بافت قادر به نگهداری شبکه ساختمانی نمی‌باشد، به طوری که ساختمان پوسته بیرونی سلول فرو می‌ریزد و چروکیدگی ایجاد می‌شود [۲۳]. چروکیدگی و تخلخل برای وارپته زیادی از محصولات غذایی به طور عمده به عنوان تابعی از میزان رطوبت بوده است.

میزان چروکیدگی در همه تیمارهای پیش فرایند شده کمتر از چروکیدگی در نمونه‌ی شاهد می‌باشد. تبخیر آب و گرم کردن موجب تنش در ساختار سلولی مواد غذایی می‌گردد که خود موجب تغییر در ریزساختار مثل تشکیل منفذ و چروکیدگی می‌شود. گسترش منافذ و چروکیدگی به تغییر در مکانیسم‌های انتقال رطوبت و فشار بیرونی بستگی دارد [۲۴]. این گزارش با نتایج نیتو و همکاران [۲۵] مطابقت دارد که دلیل افزایش چروکیدگی را خروج آب و کاهش جذب مواد جامد محلول می‌دانند.

طبق تحقیقات دیگر، میوه‌هایی که ساختاری با چروکیدگی کمتر دارند، از ظرفیت بالاتر جذب آب در زمان بازسازی برخوردار هستند [۲۲]. همچنین مطالعه بهینه‌سازی خشک کردن ترکیبی (اسمز - هوای داغ) برگه‌های سیب درختی با استفاده از روش سطح پاسخ، نتایج مشابهی به دست آمد [۲۶]. تأثیر خشک کردن اسمز به عنوان پیش فرایند خشک کردن کلم مورد مطالعه قرار گرفته است و مشخص

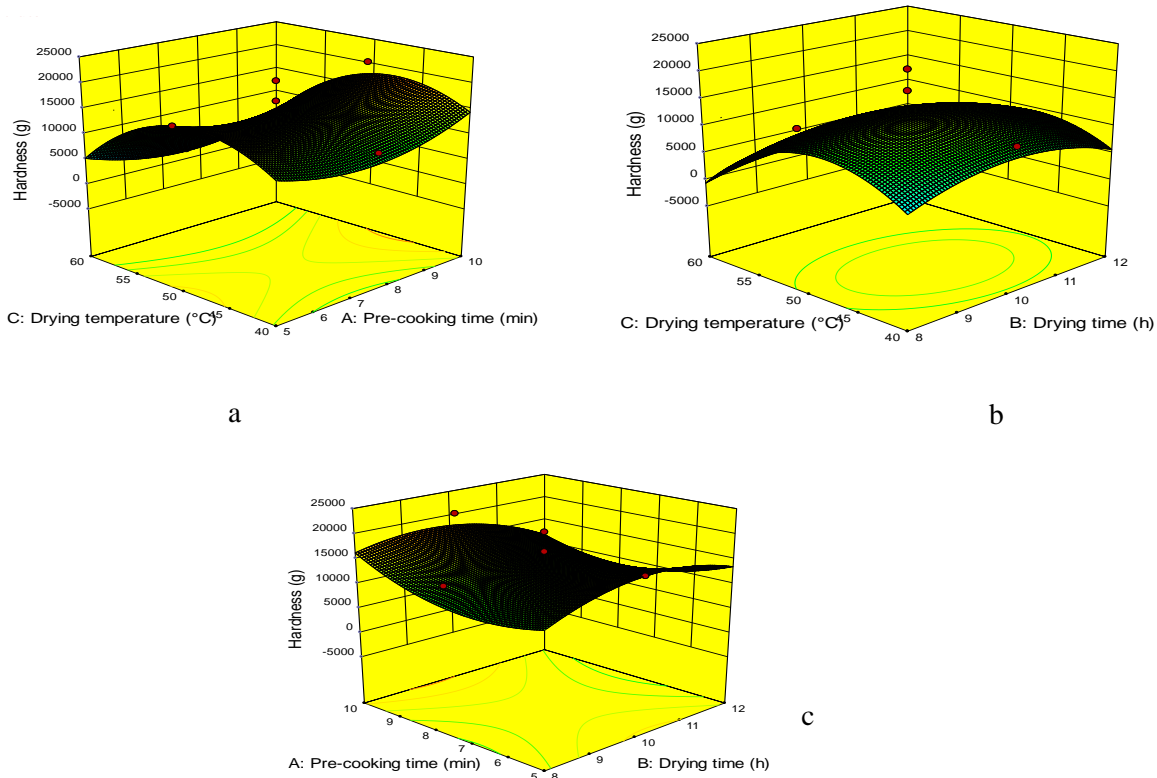


Figure 5 - The effect of a) drying temperature and pre-cooking time, b) drying temperature and time and c) pre-cooking time and drying time on hardness

استفاده از ساکارز و افزایش غلظت آن در پیش تیمار، میزان تخلخل در نمونه‌ها افزایش یافته و میزان پوکی نمونه‌های خشک شده افزایش می‌یابد. دلیل افزایش تخلخل می‌تواند به دلیل خروج رطوبت بیشتر نسبت به جذب مواد جامد باشد و از آنجا که قند نمی‌تواند وارد مجاری ریز محصول شود، لذا این امر سبب تخلخل بیشتر می‌گردد. از طرف دیگر با افزایش غلظت، میزان افت و خروج کلسیم از نمونه‌ها افزایش یافته و این امر می‌تواند سبب نرم‌تر شدن بافت گردد.

رفتارهای بافتی تا حدود زیادی به ساختمان ماده غذایی، خصوصیات شیمیایی و بیوفیزیکی محصول وابسته است [۲۸]. با افزایش دمای خشک کردن، سرعت خروج رطوبت از نمونه‌ها زیاد شده و سختی سطحی بیشتر می‌گردد. پدیده سخت‌شدگی سطحی نمونه‌ها با افزایش دما روند افزایشی داشته و سبب سخت شدن سطح نمونه‌های خشک می‌گردد و به دنبال آن نیروی شکست نمونه‌ها افزایش می‌یابد. از طرفی، ساکارز موجود در عملیات پیش تیمار موجب کاهش میزان نیروی شکست می‌گردد. دلیل این امر آن است که با

نتایج مشابهی در خشک کردن لایه‌های انبه [۲۹]، گلابی [۲۳] و سیب [۳۰] گزارش شده است.

نتایج چسبندگی نشان داد که هیچ یک از متغیرهای مستقل مورد مطالعه در این آزمون و نیز اثرات متقابل آن‌ها، تاثیری بر میزان چسبندگی بافت نداشتند ( $p > 0.05$ ).

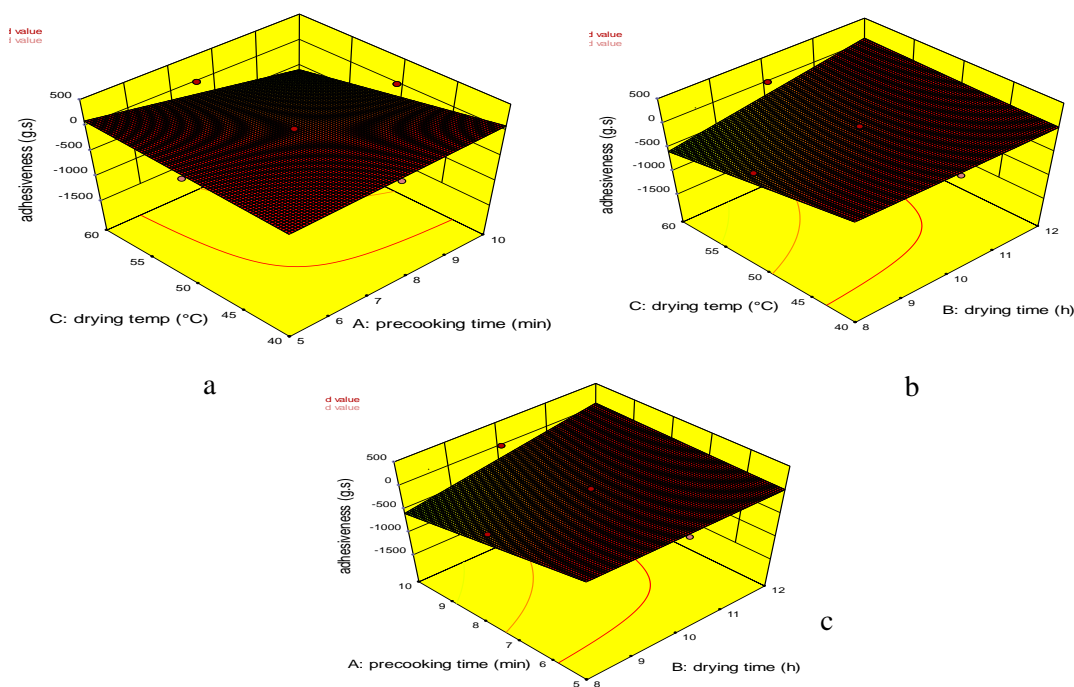


Figure 6 - The effect of a) drying temperature and pre-baking time, b) drying temperature and time, and c) pre-cooking time and drying time on adhesiveness

نمونه طی خشک شدن، از این میزان کاسته می‌شود. روند کاهش چسبندگی با کاهش رطوبت در دماهای مختلف به طوری است که چسبندگی نهایی آن‌ها تفاوتی نسبت به هم نشان نمی‌دهند و تاثیر دمای هوای خشک کردن بر چسبندگی، معنی‌دار نشده است.

شکل ۷ اثر متغیرها بر انسجام را نشان می‌دهد. آنالیز نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که پارامترهای مورد بررسی بر

روند تغییرات چسبندگی (شکل ۶) نشان داد که با کاهش محتوای رطوبتی، میزان چسبندگی کاهش پیدا کرده است. این بدان معنی است که کار لازم برای غلبه بر نیروی کشش بین سطح پروب و نمونه‌ها با کاهش رطوبت کم می‌شود. دلیل این امر را می‌توان در کاهش چسبندگی سطحی دانست زیرا چسبندگی به میزان قابل توجهی به رطوبت سطحی نمونه وابسته است [۳۱] و با خشک شدن لایه‌های سطحی

تفاوتی را نسبت بهم نشان نمی‌دهند. نتایج مشابه توسط ورس و همکاران [۴] برای این ویژگی طی خشک کردن انجیر و گلابی [۳۰] گزارش شده است که تغییرات دما بر این ویژگی تاثیر معنی دار نداشته ولی اثر تغییرات سرعت هوای خشک کردن معنی دار بوده است.

انسجام نمونه‌ها تاثیر معنی داری نداشت ( $p > 0.05$ ). تغییرات دما دارای اثر معنی دار بر ویژگی انسجام نبود که این امر را می‌توان ناشی از داشتن گرادیان رطوبتی پایین نمونه‌ها در این سرعت هوای خشک شدن با توجه به داشتن دماهای مختلف دانست. به عبارتی دیگر عامل موثر بر انسجام، محتوای رطوبتی است که اگر نمونه‌ها دارای محتوای رطوبتی یکنواخت (گرادیان رطوبتی پایین) باشند، انسجام آن‌ها

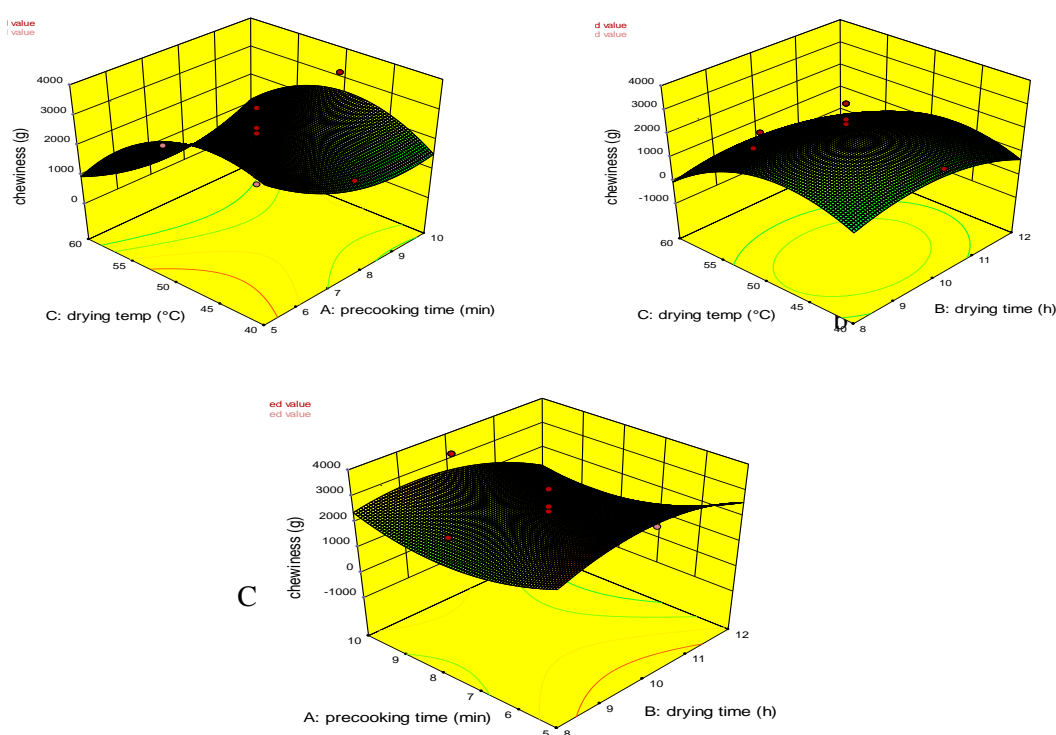


Figure 7- Effect of a) drying temperature and pre-cooking time, b) drying temperature and time, and c) pre-cooking time and drying time on cohesiveness

پیش‌پخت و کاهش زمان خشک کردن به میزان ناچیزی افزایش یافت این در حالی است که دمای خشک کردن تغییری در این خصوصیت ایجاد نکرد (شکل ۸). در همین راستا، مارتینکو و یانوشک [۳۲] بیان کردند که افزایش شاخص قابلیت جویدن بافت نشان دهنده نیاز به انرژی بیشتر

شاخص قابلیت جویدن یکی از فاکتورهای با اهمیت در بازارپسندی محصولات خشک می‌باشد. با توجه به نتایج می‌توان بیان نمود که شرایط فرآوری تأثیری بر قابلیت جویدن نداشت ( $p > 0.05$ ). قابلیت جویدن نمونه‌ها با افزایش زمان

برای جویدن میوه خشک شده است زیرا با سختی و قابلیت فنریت بافت رابطه مستقیم دارد. چونگ و همکاران [۳۳]، نیز قابلیت جویدن محصول خشک شده را بالاتر از محصول تازه مشاهده کردند. از طرفی کاهش قابلیت جویدن در برش‌های سیب خشک شده نیز گزارش شده است [۳۴].

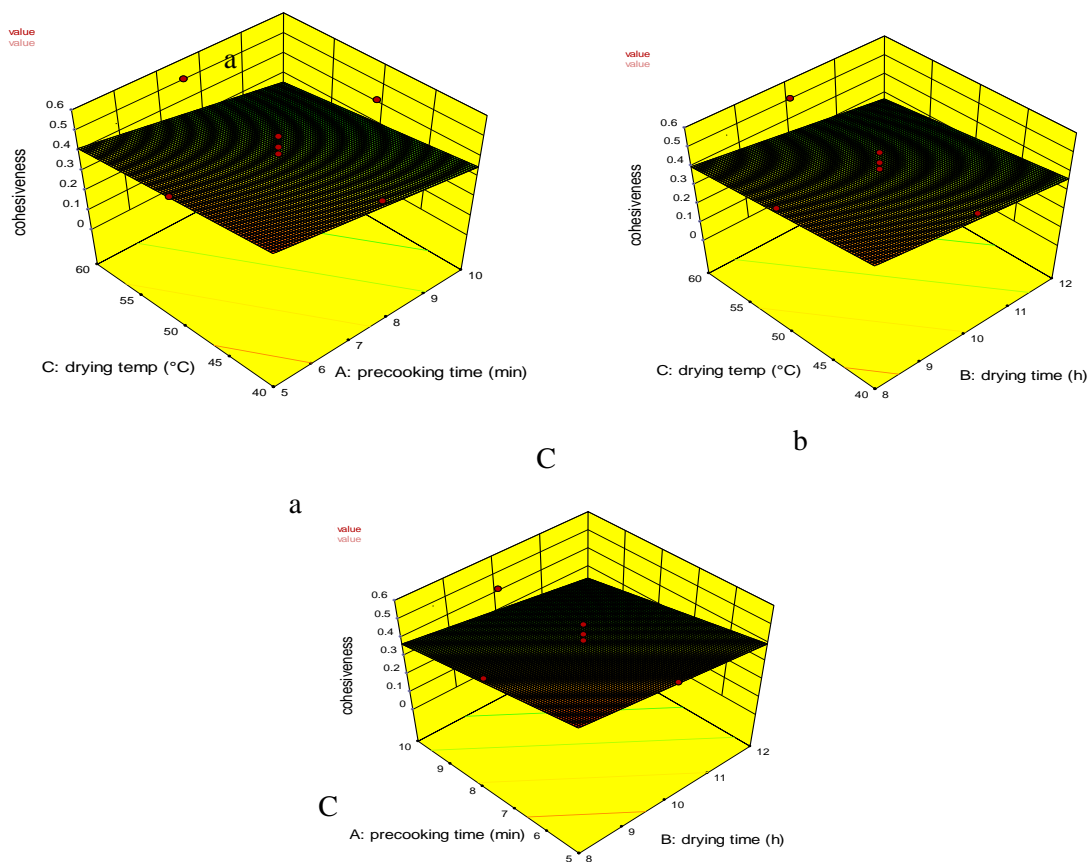


Figure 8- Effect of a) Drying temperature and pre-cooking time, b) Drying temperature and time, and c) Pre-cooking time and drying time on chewiness

تغییرات رنگ یکی از فاکتورهای ضروری تاثیرگذار بر قابلیت پذیرش مصرف میوه‌ها و سبزی‌های خشک می‌باشد. تولیدکنندگان نیز در جهت افزایش بازارپسندی محصولات خشک شده به این ویژگی کیفی توجه ویژه دارند [۳۵]. در

### ۳-۵- تغییرات شاخص‌های رنگی

بین متغیرهای مستقل تنها دمای خشک کردن بر میزان شاخص  $L^*$  تاثیر معنی‌داری داشت. شاخص  $L^*$  نمونه‌ها با افزایش دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۹).

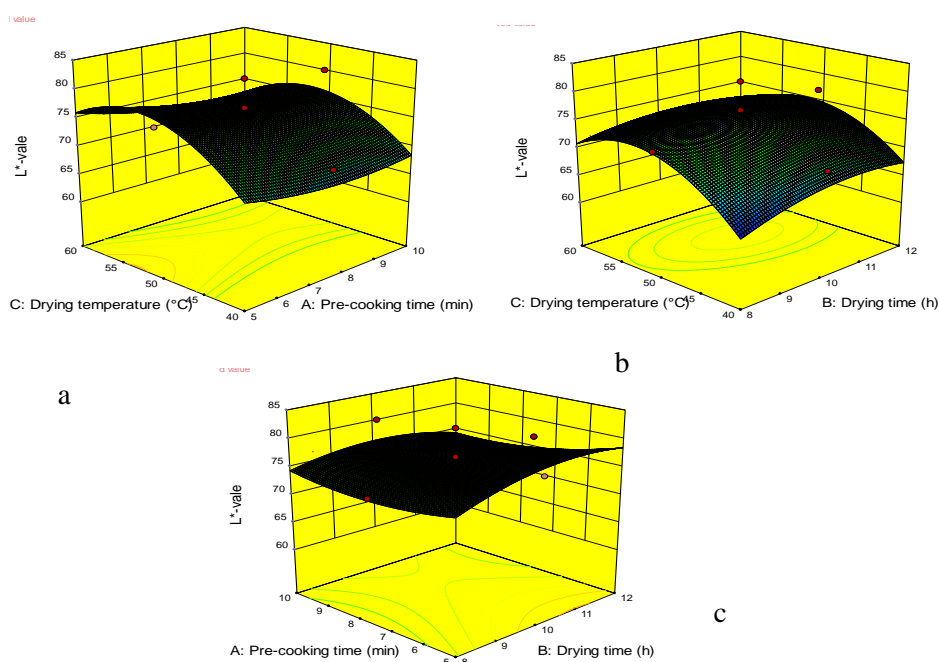


Figure 9- The effect of a) drying temperature and pre-cooking time, b) drying temperature and time, and c) pre-cooking time and drying time on  $L^*$  index

با تغییر زمان پیش پخت و زمان خشک کردن تغییر معنی-

داری نیافت ( $p > 0.05$ ).

با توجه به شکل ۱۰، هیچ یک از متغیرهای مستقل مورد مطالعه و همچنین سایر پارامترهای عملیاتی از قبیل اثر متقابل آنها و پارامترهای درجه دوم فرآیند تاثیر معناداری بر شاخص  $a^*$  نمونه‌ها نداشت ( $p > 0.05$ ). میزان این خصوصیت رنگی

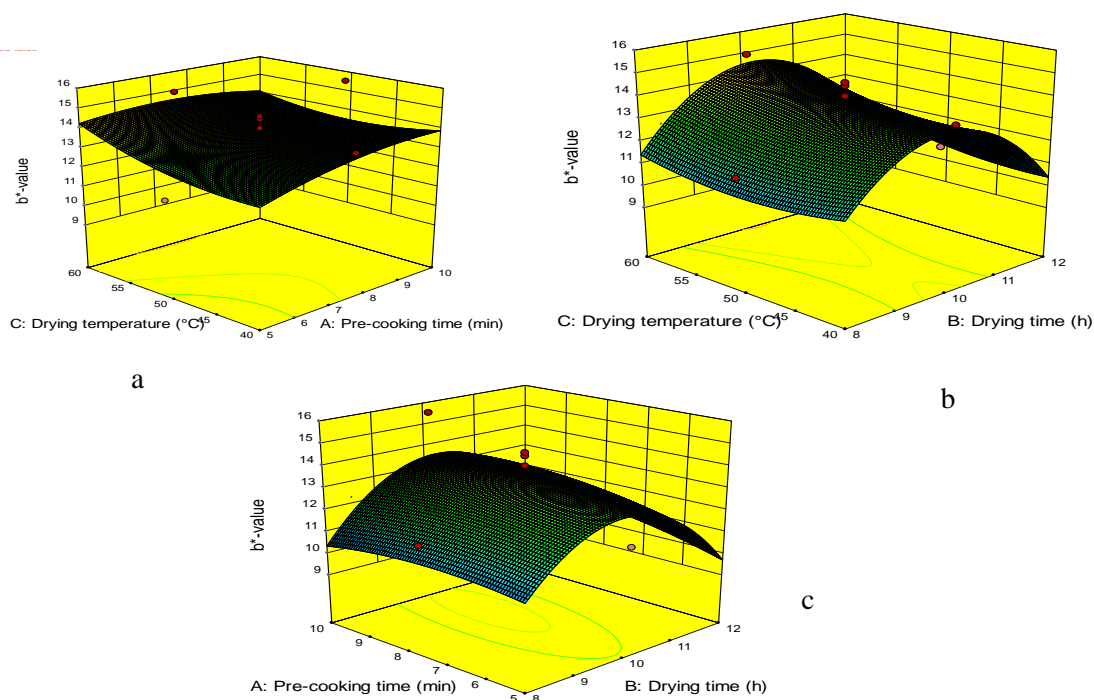


Figure 10 - The effect of a) drying temperature and pre-cooking time, b) drying temperature and time, and c) pre-cooking time and drying time on the index a

شاخص با افزایش زمان خشک کردن ابتدا افزایش (تا ۱۰ ساعت) و سپس کاهش یافت (شکل ۱۱). تغییر زمان پیش پخت و زمان خشک کردن تاثیری بر میزان  $b^*$  نمونه‌ها نداشت ( $p > 0.05$ ).

\*

با توجه به آنالیزها می‌توان بیان نمود که توان دوم زمان فرآیند خشک کردن، برخلاف سایر متغیرهای مستقل بر میزان شاخص  $b^*$  تاثیر معناداری داشت ( $p < 0.05$ ). میزان این



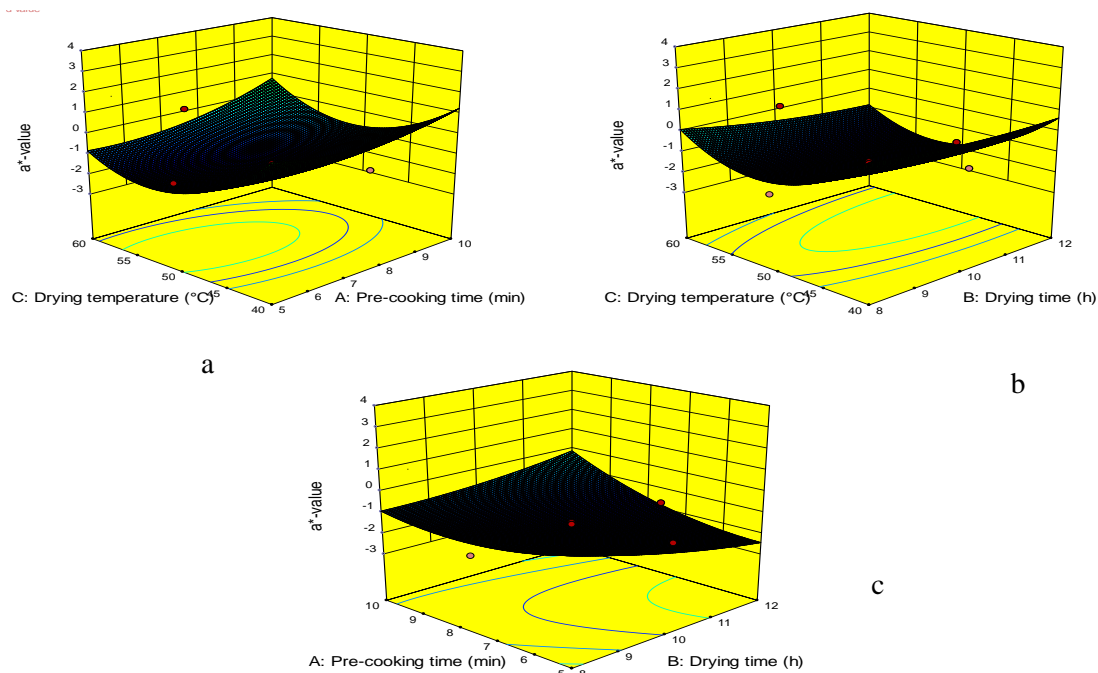


Figure 11- The effect of a) drying temperature and pre-cooking time, b) drying temperature and time, and c) pre-cooking time and drying time on index  $b^*$

نمونه‌های حاوی محلول اسمزی ساکارز، نفوذ ترکیبات قندی به درون بافت نمونه، فرآیند پیچیده‌ای است که به چندین عامل بستگی دارد. در مرحله اول آبیگری اسمزی، ساکارز در سطح لایه نمونه حل شده که باعث دشوار بودن جذب آب داخل مویرگی‌های متخلخل می‌شود و در نتیجه آب توسط نیروهای جاذب حفظ می‌گردد. ظاهراً این نیروها هستند که سبب ایجاد فشار اسمزی شده و در ادامه آبیگری اسمزی، ساکارز به مقدار مشخصی به درون ساختار نمونه نشت می‌کند و در نتیجه ساختار نمونه را تشکیل می‌دهد. نتایج رن و همکاران [۳۷] تأیید کننده نتایج تحقیق حاضر است. نتایج بررسی پاتیل و همکاران [۱۵] نشان داد که روشی رنگ پیاز خشک شده با روش ترکیبی اسمز هوای داغ بیشتر و زردی

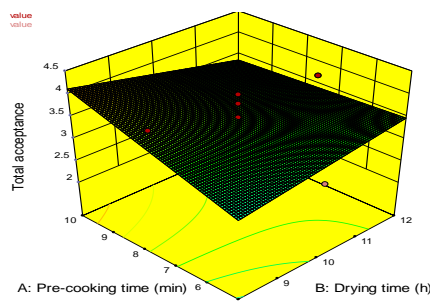
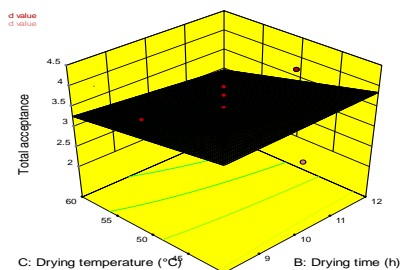
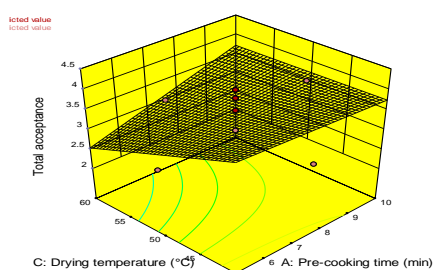
در اغلب موارد، رنگ باکیفیت محصول ارتباط دارد و به عنوان یک شاخص نابودی کیفیت طبیعی محصول تازه باشد. تیمار اسمز می‌تواند حفظ رنگدانه‌ها را افزایش دهد و میزان قهوه‌ای شدن محصول در اثر اکسیداسیون‌های طبیعی را به حداقل برساند و رنگ محصول را جذاب‌تر نشان دهد [۳۶]. این پدیده را می‌توان بدین صورت تفسیر کرد که در مرحله خشک شدن به روش اسمز، نمونه‌ها از دسترس اکسیژن خارج هستند که این امر موجب کندی پیشرفت واکنش‌های قهوه‌ای شدن می‌شود و به دلیل تغییر رنگ کمتر، جذابیت بیشتری برای مصرف کننده دارد. تغییرات شاخص‌های  $a^*$  و  $b^*$  نیز به نظر می‌رسد به دلیل نقش فعال قندها در واکنش شیمیایی رنگ‌زا طی خشک شدن باشد [۳۷]. همچنین در

این نمونه‌ها کمتر از نمونه‌های خشک شده با روش هوای داغ بوده است.

### ۳-۶- پذیرش کلی

شکل ۱۲ نتایج ارزیابی حسی را نشان می‌دهد. ادراک حسی فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر ویژگی‌های ظاهری، ویژگی‌های بافتی و ویژگی‌های عطر و طعم محصول قرار دارد و از تجمع یا تفسیر سیگنال‌های تولید شده از مواد شیمیایی، به وسیله بوئیدن، چشیدن و ارزیابی ظاهری مواد غذایی تعیین می‌شود. بنابراین تعادل ترکیبات طعمی در محصولات غذایی به صورت و سیعی مقبولیت کلی محصول غذایی را تعیین می‌کند [۳۸]. دمای خشک کردن و اثر متقابل دمای خشک کردن و زمان پخت مقدماتی به میزان چشمگیری موجب تغییر نتایج پذیرش کلی شد ( $p < 0.05$ ). پذیرش کلی ویژگی‌های ظاهری، صفات بافتی و عطر و طعم محصول بر درک حسی آن تأثیر می‌گذارد. فرآیند اسمزی باعث حفظ بافت و رنگ و شکل ظاهری بهتری می‌شود. ماده قندی در محلول اسمزی به میزان قابل توجهی بافت را محافظت کرده و حداقل صدمه و گسستگی و تخریب دیواره سلول‌ها را

باعث می‌شود و محصول نهایی بافت و رنگی مشابه به مواد غذایی تازه دارد. همچنین به دلیل انجام آزمایش در محیط اسمزی و به دور از اکسیژن، واکنش‌های اکسیداسیونی کمتر رخ می‌دهند و ویتامین ث بهتر حفظ گردید که این امر سبب افزایش طعم و عطر و رنگ محصول و پذیرش کلی توسط مصرف کننده می‌شود. پیش فرآیند اسمزی با خارج کردن آب از داخل بافت نمونه سبب کاهش مدت زمان خشک شدن نهایی می‌شود. با اعمال پیش تیمار اسمزی و افزایش زمان پیش پخت، در نتیجه مدت زمان خشک شدن کمتر، کیفیت بهتر حفظ شده و قابل رقابت با سایر نمونه‌ها است. همچنین به دلیل کاهش مدت زمان مصرف انرژی (خشک-کن) از لحاظ اقتصادی نیز بر برتری این نمونه‌ها می‌افزاید. نتایج به دست آمده با نتایج سمیع و همکاران [۳۸] در خشک کردن ورقه‌های توت فرنگی، مطابقت دارد. فتحی آچاچلویی و حصاری [۳۹] نشان دادند که زردآلوهای خشک شده به روش پیش تیمار اسمز، از ویژگی‌های ظاهری، رنگ و عطر و طعم خوبی برخوردار بودند.



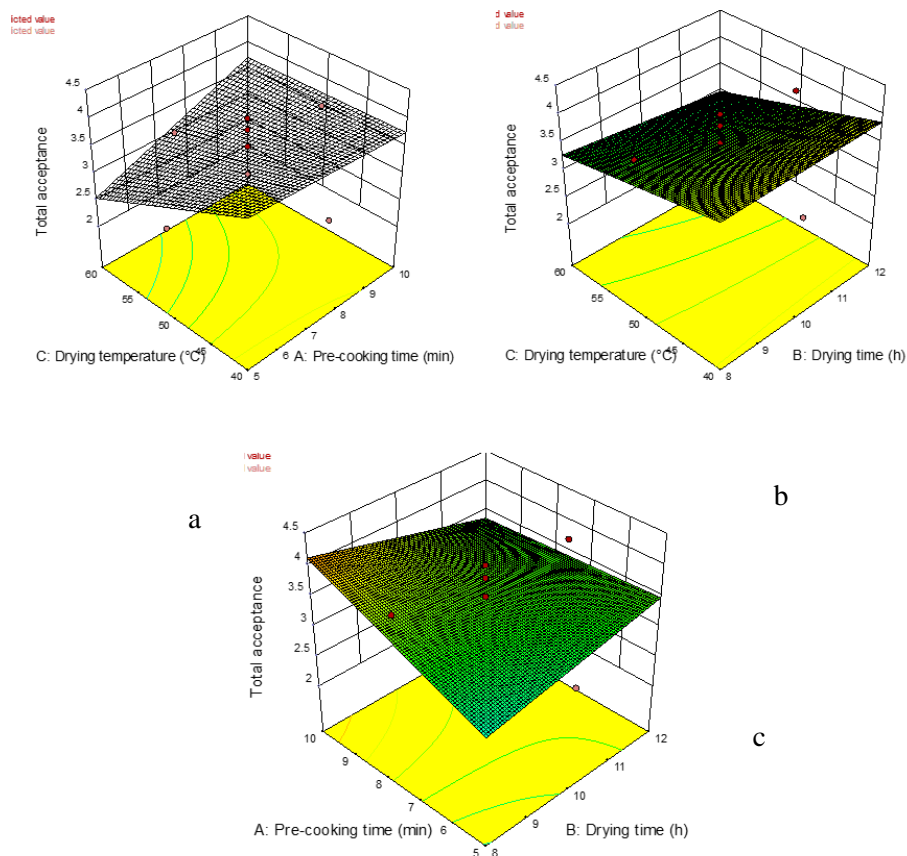


Figure 12- Effect of ( a) drying temperature and pre-cooking time,( b) drying temperature and time, and (c) pre-cooking time and drying time on overall acceptance.

محصول را انتخاب نمود. مدل‌های پیشنهادی جهت پیشگویی

روند تغییرات متغیرهای وابسته در جدول ۲ آمده است.

در این پژوهش به منظور بهینه‌یابی شرایط فراوری، از بررسی منابع و ارزیابی نمونه‌ها استفاده گردید که بر اساس حدود تعیین شده برای متغیرهای مستقل، ناحیه بهینه و نتایج حاصل از آن در شکل آورده شده است. هدف از این بهینه‌سازی تولید نمونه‌ای با روشنایی و پذیرش کلی بالاتر و نیز فعالیت آبی کمتر، درصد بازجذب رطوبت بالاتر و چروکیدگی پایین‌تر بود. سایر پارامترها در محدوده مورد مطالعه بود. با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۱۳) می‌توان بیان کرد که استفاده پیش پخت به مدت ۱۰ دقیقه، حرارت دهی در دمای ۵۳/۹۳ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۸

### بهینه‌یابی شرایط فرآیند

هدف اصلی فرآیند خشک کردن، افزایش ماندگاری محصول می‌باشد. فرآیند خشک کردن باید به صورتی انجام گیرد که علاوه بر حفظ مواد غذایی در مقابل فساد، به شاخص‌های کیفی فراورده از جمله رنگ، طعم، عطر و بافت کمترین صدمه ممکن وارد گردد. استفاده از پیش فرآیند آبگیری اسمزی با توجه به ایجاد تغییرات کم در عطر، طعم و افزایش کیفیت محصول نهایی می‌تواند در فرآیند خشک کردن محصول با هوای داغ مؤثر واقع شود. همچنین، با بررسی سینتیک و مدل سازی ریاضی، می‌توان مناسب‌ترین روش خشک کردن و بهترین شرایط عملیاتی برای تولید

ساعت موجب تولید محصولی با بهترین خصوصیات می-  
گردد (میزان مطلوبیت = ۰/۶۶۵).

Table 2- prediction models for independent variables

Dependent Variable	Prediction model	R <sup>2</sup>
Water reabsorption	$y = + 1.44 + 0.098 A + 0.1 B + 0.53 C + 0.13 AB - 0.13 AC - 0.15 BC + 0.037 A^2 + 0.04 B^2 + 0.57 C^2$	0.95
Water activity	$y = +0.73 - 4.9 \times 10^{-3} A - 3.1 \times 10^{-3} B - 1.4 \times 10^{-3} C + 5 \times 10^{-4} AB + 2.5 \times 10^{-4} AC - 1.5 \times 10^{-3} BC - 5.091 \times 10^{-3} A^2 - 9.091 \times 10^{-3} B^2 + 0.014 C^2$	0.5
Shrinkage	$y = + 92 + 0.9 A + 0.17 B - 0.72 C - 0.02 AB + 0.085 AC + 0.084 BC - 0.062 A^2 + 0.19 B^2 - 2.994 C^2$	0.95
Firmness	$y = + 13413.97 + 771.23 A - 603.72 B - 3787.79 C - 1661.03 AB - 604.96 AC - 963.48 BC + 3702.81 A^2 - 3815.96 B^2 - 7873.73 C^2$	0.75
Adhesiveness	$Y = -5.02 + 0.86 A - 0.42 B - 0.91 C + 2.98 AB - 0.43 AC + 1.79 BC$	0.45
Chewiness	$y = + 1645.14 + 465.95 A - 586.53 B + 19.02 C$	0.68
L*	$y = + 76.13 - 1.13 A + 0.9 B + 2.61 C - 0.93 AB - 0.60 AC - 0.96 BC + 1.42 A^2 - 2.04 B^2 - 5.92 C^2$	0.72
a*	$y = + 76.13 - 1.13 A + 0.9 B + 2.61 C - 0.93 AB - 0.60 AC - 0.96 BC + 1.42 A^2 - 2.04 B^2 - 5.92 C^2$	0.67
b*	$y = + 13.59 + 0.31 A - 0.025 B + 0.48 C + 0.4 AB - 0.38 AC + 0.36 BC - 0.37 A^2 - 2.80 B^2 + 0.48 C^2$	0.74
Total acceptance	$y = + 3.49 + 0.25 A - 0.06 B - 0.35 C - 0.31 AB + 0.34 AC - 0.087 BC$	0.62

A: precooking time, B: drying time, C: drying temperature

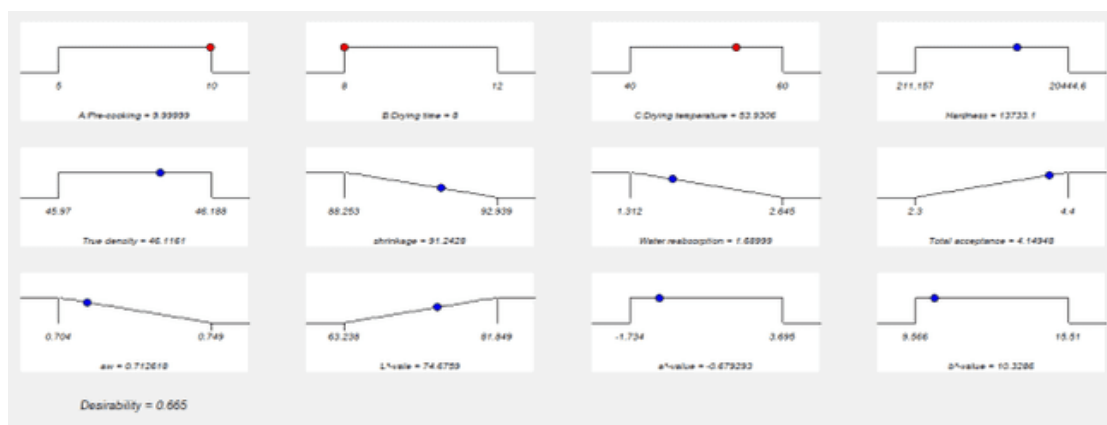


Figure 13- Ramp diagram of optimal drying conditions of aloe vera by osmotic-hot air combination method

## نتیجه گیری کلی

مطلوب در خشک کن هوای داغ به مدت (۸ تا ۱۲ ساعت) و دردمای (۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی گراد) به قرار گرفتند. با توجه به نتایج به دست آمده می توان بیان نمود که استفاده پیش پخت به مدت ۱۰ دقیقه، حرارت دهی در دمای ۵۳/۹۳ درجه سانتی گراد به مدت ۸ ساعت موجب تولید محصولی با بهترین خصوصیات می گردد (میزان مطلوبیت = ۰/۶۶۵).

## ۴- منابع

- [1] Karimi, Z., Ranjpour, R., Motefaker-Azad, M. A., Asadzadeh, A., Bagherzadeh Azar, F. 2018. Novel approach for estimate food security in Iran by GFSI index and study of prices index and population effect. *Agriculture economy and development*, 101: 181-218. (In Persian)
- [2] Imam Jameh, Z., Yousefi, Gh., Karami, Z., Pourmehdi, K. 2014. Modelling and optimization of osmotic ultrasound pretreatment and complemental drying of black cherry. *Iranian Biosystem Engineering*, 45(2): 151-141. (In Persian)
- [3] Chiralt, A., Talens, P. 2005. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*, 67: 1-67.
- [4] Torres, L. M., Calderas, F. Minjares, R. 2016. Structure preservation od aloe vera mucilage in spray drying process. *LWT-Food Science and Technology*, 66: 93-100
- [5] Alma, M., Amarjit, S., Sawheny, B. K. 2010. Response surface optimization of osmotic dehydration process of aonla slices. *Food Science and Technology*, 47(1): 47-54.
- [6] Hatami Babil, A., Mortazavi, S. A., Rafe, A, Sharifi, A. 2016. Investigation of the effect of time and ultrasound on the drying process of aloe vera gel by osmotic

استفاده از پیش فرآیند اسمزی- هوای داغ به دلیل حفظ کیفیت و کاهش مدت زمان خشک شدن نهایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. در این بررسی به منظور تولید آلوئه‌ورا خشک، ژل آلوئه ورا به مدت ۵-۹ دقیقه در آب جوش ریخته شد. جهت انجام پیش تیمار آبگیری اسمزی از محلول اسمزی تهیه شده از شکر در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد با بریکس ۳۱ و نسبت نمونه به محلول ۱ به ۷/۵ استفاده شد. نمونه‌ها برای رسیدن به بافت و رطوبت

pretreatment. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 8(1): 35-42. (In Persian)

[7] Dehbur, M. and Esmacili, M. 2009. Effect of final drying by microwave and hot air on the drying parameters of dried grape. *Iranian Researches of Food Science and Technology*, 5(2): 108-122

[8] Ebadati, H. R., Sharifi, A. and Niakosari, M. 2016. Optimization of Doogh powder production by foam mat drying using response surface methodology. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 8(4): 15-26. (In Persian)

[9] Galvez, A. T., Uribe, E., Perez, M. 2011. Effect of high hydrostatic pressure on drying kinetic, antioxidant activity, firmness and microstructure of aloe vera. *LWT-Food Science and Technology*, 44(2): 384-391.

[10] Sahin, S. and Sumnu, S. 2005. *Physical properties of foods*. Springer. 251 pages.

[11] Sun, D. W., Zheng, C. and Zhang, L. 2006. Recent development and applications of image features for food quality evaluation and inspection –a review. *Trend in Food Science and Technology*, 17: 642-655.

[12] Salehi, f., Kashaninejad, M., Akbari, E., Sobhani, S., Asadi, F. 2016. Potential of sponge Cake Making using Infrared-Hot Air

dried carrot. *Journal of Texture Studies*, 47(1): 34-39.

[13] Zomorodi, Sh. 2012. Technology of processing dried fruits and quality control. Urumia University Jihad Publication. 320 pages. (In Persian)

[14] Feng, H. and Tang, J. 1998. Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *Journal of Food Science*, 63: 679-683.

[15] Patil, M. M., Kalse, S. B. and Jain, S. K. 2012. Osmo-convective drying of onion slices research. *Journal of Recent Sciences*, 1(1): 51-59.

[16] Ayoubi, A. and Bloordi, M. 2021. The effect of osmotic dewatering before drying on physicochemical and sensory properties of dried onion slices. *Journal of Food Science Research*, 31(2):51-65. (In Persian)

[17] Chen, Q., Bi, Y., Bi, J., Zhou, L., Wu, X. and Zhou, M. 2017. Glass Transition and State Diagram for Jujube Powders with and Without Maltodextrin Addition. *Food and Bioprocess Technology*, 10(9): 1606- 1614.

[18] Mozafari, M., Asefi, N., Soleimani, J., and Jafarian P. 2011. The effect of osmosis process on the quality properties of hot air dried onions. *Journal of Food Hygiene*, 1(2): 49-60.

[19] Jangam, S. V., Law, C. L. and Mujumdar, A. S. 2010. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*. 1st ed. Singapore

[20] Pourmehdi, A., Mohebbi, M., Gohari Ardabili, A., Varidi, M., Salahi, M. 2018. Optimization of potato puree production by floor drying method. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 14(14): 585-600 (In Persian).

[21] Daraee Garmekhani, A. and Moradi, M. 2018. Optimization of Combined Drying (Osmosis-Hot Air) of Apple Tree Leaves Using Response Surface Method. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Industry*, 13(3), 114-103. (In Persian)

[22] Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48 (2): 177-182.

[23] Heidari Foroushani, M. M. and Nasiri, S. 2016. Study on textural characteristics of pear fruit during the drying process in a cabinet dryer. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 12(238): 214-225. (In Persian)

[24] Zanjirabad, M. and Zomordi, S. 2017. The effect of different pretreatments on color and physicochemical properties of hot-dried eggplant slices. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 9(3), 13-23.

[25] Nieto, A. B., Salvatori, D. M., Castro, M. A. and Alzamora, S. M. 2004. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, 61 (2): 269-278.

[26] Rahman, M. S. 2007. *Handbook of food preservation* 2nd ed. CRC press.

[27] Jayaraman, K. S., Das Gupta, D. K. and Babu Rao, N. 1990. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. *International Journal of Food Science and Technology*, 25: 47-60.

[28] Mujumdar, A. S. 2001. *Drying Technology in Agricultural and Food Science*. *Drying Technology*, 19(6): 1217-1218

[29] Zou, K., Teng, J., Huang, L., Dai, X. and Wei, B. 2013. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *LWT- Food Science and Technology*, 51: 253-259.

[30] Motavi, A. and Hashemi, S. J. 2018. The effect of different pretreatments on the

characteristics of color and texture change in drying apple layers. *Journal of Food Science and Technology*, 15(75): 123-136.

[31] Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, T. and Truong, V. 2001. Stickiness in foods: a review of mechanisms and test methods. *International Journal of Food Properties*, 4 (1):1-33.

[32] Martynenko, A. and Janaszek, M. A. 2014. Texture changes during drying of apple slices. *Drying Technology*, 32(5): 567-577.

[33] Chong, C. H., Law, C. L., Cloke, M., Abdullah, L. C. and Daud, W. R. W. 2008. Drying kinetics, texture, color, and determination of effective diffusivities during sun drying of Chempedak. *Drying Technology*, 26 (10),1286-1293.

[34] Sabbaghi, H., ZiaeeFar, A. and Kashaninejad, M. 2020. Tissue profile analysis (TPA) of dried apple slices by infrared irradiation by intermittent heating method. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 16(1): 72-57.

[35] Rashid Nejad, S. and Fard, M. Kh. 2014. Optimization of control process of browning and osmotic dehydration in semi-wet apple rings by response surface method. *Journal of Food Industry Research*, 24(1): 49-53.

[36] Basiri, Sh. And Gheibi, F. 2019. The effect of osmotic dehydration and different methods of drying squash on the quality and color of the final product. *Journal of Food*

*Science Research*, 29(1): 153-141. (In Persian)

[37] Ren, X. E., He, R., Huang, Y. C., Zhang, J. M. and Yang, F. 2010. Osmotic dehydration of pineapple enhanced by ultrasonic treatment. *Journal of Food Science*, 22: 061.

[38] Sami, A., Ghavami Jolandan, Sh., Zaki Dizaji, H. and Hojjati, M. 2019. The effect of osmotic and ultrasonic pretreatments on the quality of strawberry leaf drying process by hot air drying method. *Iranian Biosystem Engineering*, 50(3): 706-715. (In Persian)

[39] Fathi Achachloui, B. and Hesari, J. 2016. Drying of apricot leaves using osmotic dewatering process (sucrose solutions, salt). *Journal of Food Industry Research*, 26(3): 493-505.



## Scientific Research

### Optimization of combined drying (osmotic-hot air) of aloe vera slice using response surface methodology

Aynaz Ghurchaee<sup>1</sup>, Rahil Rezaei<sup>1\*</sup>, Masoumeh Moghimi<sup>2</sup>

- 1- Food Science and technology department, Gonbad Kavoods branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoods Iran
- 2- Chemistry department, Gonbad Kavoods branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoods Iran

#### ABSTRACT

The aim of this study was to produce dry aloe vera slice by osmotic-hot air drying method and to investigate the effects of this method on texture, color, shrinkage, water re-absorption ability and water activity. The studied variables included pre-cooking time (5, 7 and 10 minutes), drying time (8, 10 and 12 hours) and drying temperature (40, 50 and 60 ° C) using the response surface method in the form of a central composite design. It was examined with six replications at the central point. The results showed that increasing the temperature to 50°C increased the hardness of the texture, but further increasing the temperature reduced the hardness. The rate of rehydration was affected by drying temperature. With increasing temperature, the rate of rehydration in the samples increased. However, changing the pre-cooking and drying process time had no effect on the amount of this parameter. None of the studied independent variables had a significant effect on water activity. Optimization results showed that pre-cooking for 10 minutes and drying at 53.93°C for 8 hours will produce products with the best characteristics.

#### ARTICLE INFO

##### Article History:

Received: 2022/6/26

Accepted: 2023/5/6

##### Keywords:

Aloevera,  
osmotic drying,  
hot air drying,  
texture

**DOI:** 10.22034/FSCT.20.144.1

**DOR:** 20.1001.1.20088787.1402.20.144.1.5

\*Corresponding Author E-Mail:  
[rezaei.rahil@yahoo.com](mailto:rezaei.rahil@yahoo.com)