

# بهینه سازی دما و فرمولاسیون تولید پودر خرمالو به روش سطح پاسخ

سمیه سلیمانی<sup>۱</sup>، اکرم شریفی<sup>۲\*</sup>، محمد آرمین<sup>۳</sup>

گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران  
گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.  
گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱/۲۳

## چکیده

طراحی روش های فرآیند مناسب، با قابلیت افزایش عمر ماندگاری و حفظ خصوصیات کاربردی و تغذیه ای خرمالو، امری ضروری به نظمی رسد. یکی از راه های دستیابی به این هدف، طراحی و بهینه سازی فرآیند خشک کردن کف پوشی محصول می باشد. خواص فیزیکی پودر میوه ها مانند رطوبت، دانسیته، جذب آب و حلالیت، نقش مهمی در کنترل کیفیت پودرها در طول ذخیره سازی ایفا می کنند و بر قابلیت بازسازی عصاره ی میوه ها نیز تاثیر می گذارند. در این پژوهش فرآیند تولید پودر خرمالو به روش سطح پاسخ بهینه سازی شد. فاکتور های متغیر شامل دما (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد)، آلومین (۱، ۲/۵ و ۴٪)، مالتودکسترین (۱۰، ۱۵ و ۲۰٪) و پاسخ ها میزان دانسیته فشرده، دانسیته غیر فشرده، حلالیت، جذب آب، اندیس قهوه ای شدن و دمای انتقال شیشه ای بودند. نتایج نشان داد بهترین شرایط برای تولید پودر خرمالو دما (۵۱/۵۷ درجه سانتی گراد)، آلومین (۴٪) و مالتودکسترین (۱۲/۷۹٪) بود که در این شرایط میزان دانسیته فشرده (۰/۸۷۶۸g/ml)، دانسیته غیر فشرده (۰/۵۷۶۵g/ml)، حلالیت (۷۶/۸۰۰g/ml)، جذب آب (۴/۰۶۹۲g/ml)، اندیس قهوه ای شدن (۰/۲۶۰۳) و دمای گذار شیشه ای (۷۹/۶۳۰ درجه سانتی گراد) بود.

**واژه های کلیدی:** پودر خرمالو، سطح پاسخ، دانسیته، حلالیت، دمای گذار شیشه ای

## ۱- مقدمه

متیل سلولز در سه سطح ۱٪، ۱/۵٪، ۲٪ و دماهای خشک کردن ۵۰، ۶۰، ۸۰ درجه سانتی گراد بر پودر آلبالو تولید شده به روش کف پوشی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت متیل سلولز اندیس قهوه ای شدن و زمان خشک کردند پودر کاهش یافت اما میزان حلالیت نمونه ها روند افزایشی داشت. همچنین نتایج نشان داد که در دمای خشک کردن ۶۵ درجه سانتی گراد بیشترین حلالیت را داشت از طرفی قهوه ای شدن و زمان خشک کردن پودر با افزایش دما کاهش یافت (۴).

هدف از این تحقیق بهینه سازی فرآیند تولید پودر خرمالو با خشک کردن کف پوشی به روش سطح پاسخ بود.

## ۲- مواد و روش ها

## ۲-۱ آماده سازی نمونه

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل خرمالو تهیه شده از بازار محلی نیشابور، مالتودکسترین مرک آلمان و آلومین تازه تخم مرغ بودند مقدار مشخصی مالتودکسترین (۱۰، ۱۵ و ۲۰٪ وزنی/وزنی) و سپس آلومین تازه تخم مرغ (۱، ۲/۵ و ۴٪ وزنی/وزنی) به خمیر خرمالو اضافه گردید سپس مخلوط مورد نظر با همزن مکانیکی (Germany IKA LABORTECHNIK) با بیشترین سرعت (۷۸۸، دور بر دقیقه)، در دمای محیط به مدت ۱۰ دقیقه، هم زده شد. کف تولیدی درون پلیت های آلومینیومی با ضخامت و ارتفاع مشخص ریخته شد و در دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد توسط خشک کن هوای داغ (JEIO TECH, F-02G) خشک شد.

## ۲-۲ اندازه گیری دانسیته توده (فشرده و غیرفشرده)

دانسیته حجمی فشرده<sup>۳</sup> و دانسیته حجمی غیر فشرده<sup>۴</sup> طبق روش ذکر شده در استاندارد شماره ۳۳۴۵ موسسه ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای ۲۰ نمونه پودر خرمالوبا استفاده از روابط زیر اندازه گیری شد (۵).

رابطه (۱-۲):  $Loosed\ density\ g/ml : M/V_1$

رابطه (۲-۲):  $Packed\ density\ g/ml : M/V_2$

$V_1$ : حجم پودر داخل مزور (۵۰ میلی لیتر)

خرمالو با نام علمی Diospyros در مناطق نیمه استوایی و اقلیم های گرم و معتدل رشد می کند. تولید وسیع جهانی خرمالو در سال ۲۰۰۹، ۴/۰۱ میلیون تن می باشد. این میوه ای مهم در چین، ژاپن و کره است (۱۱)، همچنین در کشورهای مدیترانه ای از جمله ترکیه نیز مشهور شده است. خرمالو محتوای نسبتا بالایی از رژیم غذایی حاوی فیبر می باشد (۶). گرچه توسعه راه های ارتباطی و فراهم آوردن امکانات حمل و نقل، امکان دستیابی به انواع میوه ها و سبزیجات تازه را افزایش می دهد و محصول بدست آمده در مناطق گرمسیر سریعتر به بازار مصرف می رسد، لیکن ضایعات بیش از حد حین حمل و نقل و نگهداری که متجاوز از ۵۰٪ است و همچنین عدم وجود امکانات کافی و آگاهی های لازم از شرایط نگهداری این اقلام در سردخانه و نیز میوه هایی که از نظر شکل ظاهری بازار پسند نمی باشند، لزوم خشک کردن آن ها را در محل تولید توجیه می نماید. با این وصف هنوز هم تولیدات کارخانه های خشک کن قسمت بسیار ناچیزی از کل تولید این محصولات را شامل می شود (۱۰). هدف از خشک کردن عبارت است از خارج نمودن آب از یک ماده و در نتیجه افزایش عمر انباری آن است (۱). چندین روش خشک کردن کفی مورد استفاده قرار گرفته که از آن جمله می توان، خشک کردن کفی تحت خلا، خشک کردن پاششی کفی و خشک کردن کف پوشی را نام برد (۸). خشک کردن کف پوشی فرآیندی است که در آن مواد مایع به وسیله ترکیب گاز به داخل آن به کف پایدار تبدیل شده سپس توسط جریان هوای داغ در فشار اتمسفر خشک می شود و به شکل ورقه نازک متخلخل<sup>۱</sup> در می آیند (۱۳). راجکومار<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷)، ویژگی های پالپ انبه خشک شده به روش کف پوشی در یک خشک کن کف پوشی مداوم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کف پالپ انبه تولید شده با استفاده از آلومین تخم مرغ ۱۰٪ به عنوان عامل کف ساز و متیل سلولز ۰/۵٪ به عنوان تثبیت کننده کف در ۶۰ درجه سانتی گراد با ۱mm ضخامت بهترین نتیجه را داشت. مطالعات انجام شده نشان داد که زمان مورد نیاز برای خشک کردن پالپ انبه تازه (غیر کفی) و کفی به ترتیب ۷۵ و ۳۵ دقیقه بود (۱۵). عباسی و همکاران (۱۳۹۲)، اثر

<sup>3</sup> Packed density

<sup>4</sup> Loosed density

<sup>1</sup> Mat

<sup>2</sup> Raikumar

M: وزن پودر خرمالو

دستگاه ریخته و در طول موج ۴۲۰ نانومتر مقدار جذب بدست آمد (۴).

V<sub>2</sub>: حجم پودر داخل مزور بعد از فشرده شدن

$$\text{رابطه (۲-۵): } C \text{ mg / 100 ml} = A/\epsilon L$$

A: جذبی که دستگاه نشان می دهد.

L: طول سل که بر حسب سانتی متر است.

€: جذب مولی

C: غلظت مولی

۲-۶ اندازه گیری دمای گذار شیشه ای (T<sub>g</sub>)

اندازه گیری دمای گذار شیشه ای با استفاده از دستگاه گرماسنجی رویشی تفاضلی (DSC) تحت گاز نیتروژن با فلوی ۳۰ میلی لیتری بر دقیقه استفاده شد.

### ۲-۷ طرح آماری

در این پژوهش به منظور بهینه سازی فرآیند تولید پودر خرمالو از طرح مربع مرکزی<sup>۱</sup> با تعداد ۱۴ تیمار و ۶ تکرار در نقاط مرکزی استفاده گردید. سطوح متغیرهای وابسته و کدهای مربوطه در جدول ۱ ذکر شده است. برای طراحی آزمایش، آنالیز نتایج و بهینه سازی از نرم افزار دیزاین اکسپرت<sup>۲</sup> نسخه ۷ استفاده شد. بدین منظور معادلات ریاضی چند جمله ای درجه دوم با استفاده از آنالیز رگرسیون بر روی متغیرهای وابسته در رابطه زیر برآزش شدند:

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

در معادله فوق، Y بیانگر پاسخ های مورد نظر شامل محتوای دانسیته فشرده، دانسیته غیرفشرده، حلالیت، جذب آب، اندیس قهوه ای شدند b<sub>n</sub> نشان دهنده ی ضرایب رگرسیون می باشد. این ضرایب اثرات خطی، دو جمله ای و نیز اثرات متقابل فاکتورهای متغیر فرآیند را بیان می کنند. مقادیر AB, C و نیز به ترتیب نشان دهنده ی فاکتورهای مستقل فرآیند هستند.

### ۲-۳ حلالیت

برای انجام آزمایش ۱ گرم از پودر تولیدی در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده و محلول تولیدی به منظور جدا شدن بخش های نامحلول، به مدت ۱۰ دقیقه در سائتریفوزر (Sigma, 2-16KC, Germany) با سرعت ۷۵۰۰ دور در ثانیه با دمای ۴ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس ۲۵ میلی لیتر از بخش شفاف بالای لوله آزمایش برداشته شد و به مدت ۵ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. مقدار حلالیت بر حسب درصد از رابطه زیر محاسبه شد (۷).

$$\text{رابطه (۲-۳): } S = (m_2 - m_1 / 0.25) \times 100$$

S: حلالیت

m<sub>1</sub>: وزن خالی پلیت

m<sub>2</sub>: وزن نمونه و پلیت پس از خارج کردن آن از آون بعد از ۵ ساعت

### ۲-۴ ظرفیت جذب آب

بدین منظور ۱ گرم پودر در ۳۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده به مدت ۱۸ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. سپس محلول تهیه شده به مدت ۴۰ دقیقه در سائتریفوزر (Sigma, 2-16KC, Germany) با سرعت ۲۵۰۰ (دور بر ثانیه) قرار داده شد. در انتها میزان ظرفیت نگهداری آب از رابطه زیر محاسبه شد (۹).

$$\text{رابطه (۲-۴): } R = m_2 - m_1$$

R: مقدار آب جذب شده توسط یک گرم پودر

m<sub>2</sub>: مقدار آب اضافه شده به یک گرم پودر

m<sub>1</sub>: مقدار مایع

### ۲-۵ اندیس قهوه ای شدن

در این آزمایش از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده گردید. برای اندازه گیری میزان جذب ابتدا دستگاه تنظیم شد به این صورت که پس از گذشت ۲۰ دقیقه از روشن کردن اسپکتروفتومتر با قرار دادن آب مقطر در محفظه جذب کنترل و مشخص شد که صفر است سپس نمونه های مورد نظر (عصاره پودر خرمالو) را در سل

<sup>1</sup>Central composite

<sup>2</sup>Design-Expert

جدول ۱- مقادیر کد شده و سطوح متغیرهای مستقل فرآیند تولید

پودر خرمالو			
کد و سطوح مربوطه		متغیرهای مستقل	
+۱	۰	-۱	
۷۰	۶۰	۵۰	دما (C, درجه سانتی گراد)
۲۰	۱۵	۱۰	مالتودکسترین (B درصد)
۴	۲/۵	۱	البومین (A درصد)

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱ تاثیر متغیرهای فرآیند بر روی دانسیته فشرده

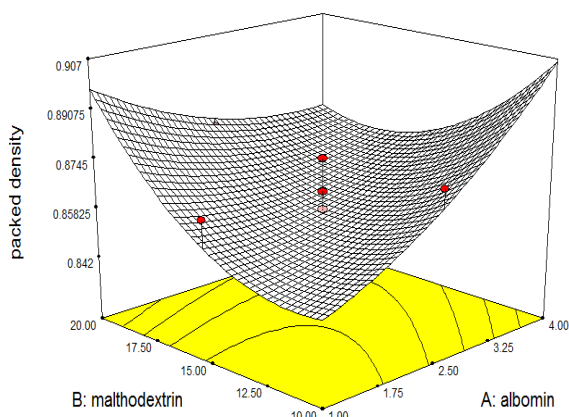
نتایج حاصل از (جدول ۲) تجزیه واریانس نشان داد که جمله مربوط به اثر درجه دوم دما ( $C^2$ ) و جمله ای اثر متقابل آلومین و مالتودکسترین (AB) تاثیر معنی دار و جمله اثر متقابل دما و مالتودکسترین (BC) تاثیر کاملا معنی داری بر میزان دانسیته فشرده داشتند. در کمترین میزان (۱٪) آلومین، با افزایش نسبی مالتودکسترین میزان دانسیته فشرده به طور معنی داری افزایش یافت (شکل ۱) و با کمترین میزان (۱۰٪) مالتودکسترین، با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد دانسیته فشرده افزایش داشت. اما در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد میزان دانسیته فشرده به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۲).

نتایج فوق با نتیجه آبدیو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت. آن ها طی پژوهشی با بررسی ویژگی های فیزیکی پودر آناناس تولید شده به روش خشک کردن پاششی، اندازه ذرات پودر را یکی از عوامل موثر بر دانسیته توده پودر بیان نمودند. با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد دمای گذار شیشه ای بالاتر و در نتیجه رفتار آمورفی پودر کمتر و اندازه ذرات کوچکتر خواهد بود اما در ادامه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد، به علت وقوع تغییرات ساختاری در ملکول های پروتئین آلومین، اندازه ذرات افزایش یافته و باعث کاهش دانسیته توده پودر تولیدی گردید. افزایش ضخامت کف، طولانی شدن زمان خشک شدن را به همراه داشت که این خود می تواند دلیلی بر افزایش اندازه ذرات پودر شده و در نهایت کاهش دانسیته توده پودر باشد (۱۴). خلیلیان و همکاران (۱۳۹۲) که با بررسی پودر کنسانتره انار تولیدی به روش کف پوشی، عنوان کردند که با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد دانسیته توده افزایش یافت در صورتی که با افزایش

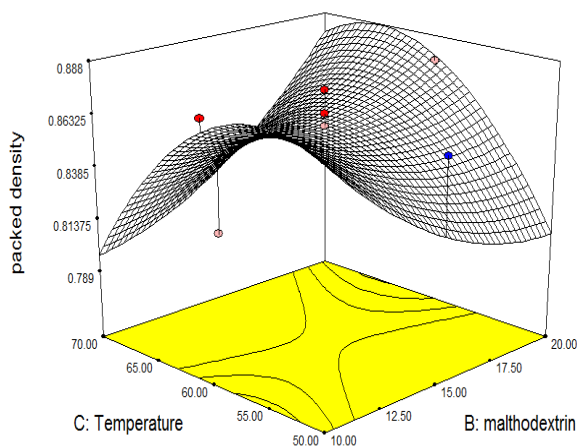
۶۰ به ۷۰ درجه سانتی گراد، میزان دانسیته توده کاهش نشان داده است (۳). بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار، معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد:

$$Y = +0.086 - 0.020 AB + 0.037 BC - 0.036 C^2$$

ضریب تبیین ( $R^2$ ) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۸۲۶۹ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش ۰/۰۵۲۷ بود. این مقادیر نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند بخوبی پاسخ مورد نظر را پیش بینی نماید.



شکل ۱- نمایش سه بعدی اثر مالتودکسترین، آلومین بر میزان دانسیته فشرده

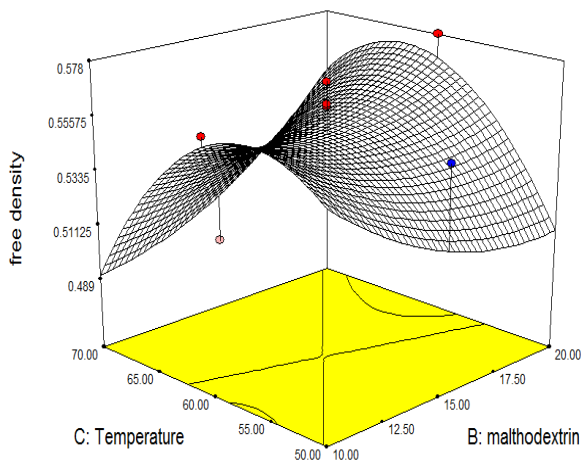


شکل ۲ نمایش سه بعدی اثر مالتودکسترین، دما بر میزان دانسیته فشرده

<sup>1</sup> Akbulut

جدول ۲- تجزیه و تحلیل واریانس دانسیته فشرده پودر خرمالو

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۰/۰۱۹	۹	۲/۰۷۵E - ۰۰۳	۵/۲۹	۰/۰۰۷۸
Intercept	۰/۸۶	-	-	-	-	-
A	۸/۷۰۰E - ۰۰۳	۷/۵۶۹E - ۰۰۴	۱	۷/۵۶۹E - ۰۰۴	۱/۹۳	۰/۱۹۵۰
B	۴/۴۰۰E - ۰۰۳	۱/۹۳۶E - ۰۰۴	۱	۱/۹۳۶E - ۰۰۴	۰/۴۹	۰/۴۹۸۴
C	-۹/۰۰۰E - ۰۰۴	۸/۱۰۰E - ۰۰۶	۱	۸/۱۰۰E - ۰۰۶	۰/۰۲۱	۰/۸۸۸۶
AB	-۰/۰۲۰	۳/۲۸۰E - ۰۰۳	۱	۳/۲۸۰E - ۰۰۳	۸/۳۶	۰/۰۱۶۱
AC	-۴/۰۰۰E - ۰۰۳	۱/۱۸۰E - ۰۰۳	۱	۱/۲۸۰E - ۰۰۳	۰/۳۳	۰/۵۸۰۵
BC	۰/۰۳۷	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۱۱	۲۷/۱۷	۰/۰۰۰۴
A <sup>2</sup>	۷/۲۲۷E - ۰۰۳	۱/۴۳۶E - ۰۰۴	۱	۱/۴۳۶E - ۰۰۴	۰/۳۷	۰/۵۵۸۶
B <sup>2</sup>	۰/۰۱۶	۶/۸۰۲E - ۰۰۴	۱	۶/۸۰۲E - ۰۰۴	۱/۷۳	۰/۲۱۷۳
C <sup>2</sup>	-۰/۰۳۶	۳/۵۱۹E - ۰۰۳	۱	۳/۵۱۹E - ۰۰۳	۸/۹۷	۰/۰۱۳۵
Lack of Fit	-	۳/۳۶۰E - ۰۰۳	۵	۶/۵۲۰E - ۰۰۴	۴/۹۱	۰/۰۵۲۷
R-Squared	-	۰/۸۲۶۹	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۶۷۰۲	-	-	-	-



شکل ۳ - نمایش سه بعدی اثر دما، مالتودکسترین بر میزان دانسیته غیرفشرده

### ۳-۳ تاثیر متغیرهای فرآیند بر روی حلالیت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که جمله ی خطی مالتودکسترین (B) تاثیر معنی داری و جمله ای اثر متقابل آلومین و دما (AC) و جمله ای اثر درجه دوم (B<sup>2</sup>) تاثیر کاملاً معنی داری بر میزان حلالیت داشت. با کمترین میزان (۱٪) آلومین، افزایش دما به طور معنی داری باعث افزایش حلالیت شد (شکل ۴). هارمایانی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) طی تحقیقی به این

### ۲-۳ تاثیر متغیرهای فرآیند بر روی دانسیته غیرفشرده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) که جمله ای خطی (A) و جمله ای مربوط به اثر درجه دوم دما (C<sup>2</sup>)، تاثیر معنی داری بر میزان دانسیته غیرفشرده داشتند و جمله ای اثر متقابل مالتودکسترین و دما (BC) تاثیر کاملاً معنی داری داشت. در کمترین میزان (۱۰٪) مالتودکسترین، افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد باعث افزایش دانسیته غیرفشرده شده ولی با افزایش دما از ۶۰ به ۷۰ درجه سانتی گراد میزان دانسیته غیرفشرده به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۳)(۳).

بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار، معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد:

$$Y = +0/55 + 0/018A + 0/025BC - 0/037C^2$$

ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۷۴۴۹ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش ۰/۳۵۷۰ بود. این مقادیر نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند بخوبی پاسخ مورد نظر را پیش بینی نماید.

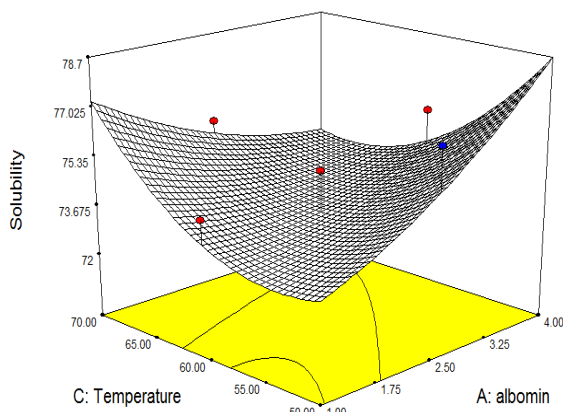
جدول ۳ - تجزیه و تحلیل واریانس دانسیته غیر فشرده پودر خرمالو

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۰/۰۱۴	۹	۱/۵۹۹E - ۰۰۳	۳/۲۴	۰/۰۴۰۴
Intercept	۰/۵۵	-	-	-	-	-
A	۰/۰۱۸	۳/۱۶۸E - ۰۰۳	۱	۳/۱۶۸E - ۰۰۳	۶/۴۳	۰/۰۲۹۶
B	۵/۶۰۰ E - ۰۰۳	۳/۱۳۶E - ۰۰۴	۱	۳/۱۳۶E - ۰۰۴	۰/۴۶	۰/۴۴۳۶
C	-۳/۹۰۰ E - ۰۰۳	۱/۵۲۱E - ۰۰۴	۱	۱/۵۲۱E - ۰۰۴	۰/۳۱	۰/۵۹۰۷
AB	-۰/۰۱۵	۱/۷۷۰E - ۰۰۳	۱	۱/۷۷۰E - ۰۰۳	۳/۵۹	۰/۰۸۷۳
AC	-۳/۷۰۵ E - ۰۰۴	۱/۱۲۵E - ۰۰۶	۱	۱/۱۲۵E - ۰۰۶	۲/۲۸۳E - ۰۰۳	۰/۹۶۲۸
BC	۰/۰۲۵	۵/۱۵۱E - ۰۰۳	۱	۵/۱۵۱E - ۰۰۳	۱۰/۴۵	۰/۰۰۹۰
A <sup>2</sup>	۰/۰۱۵	۶/۳۷۶E - ۰۰۴	۱	۳/۳۷۶E - ۰۰۴	۱/۲۹	۰/۲۸۱۹
B <sup>2</sup>	۰/۰۱۲	۴/۱۱۱E - ۰۰۴	۱	۴/۱۱۱E - ۰۰۴	۰/۸۳	۰/۳۸۲۵
C <sup>2</sup>	-۰/۰۳۷	۳/۸۲۰E - ۰۰۳	۱	۳/۸۲۰E - ۰۰۳	۷/۷۵	۰/۰۱۹۳
Lack of Fit	-	۲/۸۸۵ E - ۰۰۳	۵	۵/۷۷۰E - ۰۰۴	۱/۴۱	۰/۳۵۷۰
R-Squared	-	۰/۷۴۴۹	-	-	-	-
Adj R -Squared	-	۰/۵۱۵۲	-	-	-	-

مقادیر نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند بخوبی پاسخ مورد نظر را پیش بینی نماید.

### ۳-۴ تاثیر متغیرهای فرآیند بر روی جذب آب

نتایج حاصل از (جدول ۵) تجزیه واریانس نشان داد که جمله ای خطی آلومین (A) و جمله ای درجه دوم (B<sup>2</sup>) تاثیر معنی داری و جمله ی خطی مالتودکستری (B) و جمله ای اثر درجه دوم (A<sup>2</sup>)، تاثیر کاملاً معنی داری بر میزان جذب آب داشت. قابلیت جذب آب یکی از مهمترین ویژگی های پودر و بیانگر



شکل ۴- نمایش سه بعدی اثر دما، آلومین بر میزان حلالیت

نتیجه رسیدند، که هر چقدر ساختار در طی فرآیند خشک کردن پایدارتر باشد حباب ها تا انتهای فرآیند خشک کردن حفظ می شوند و وجود حباب ها در پودر خشک شده به روش کف پوشی موجب افزایش تخلخل و در نهایت افزایش حلالیت می گردد و دلیل آن را مقادیر بالای گروه های هیدروکسیل (OH) در این ترکیبات پرکننده بیان کردند که این گروه ها می توانند با آب پیوند هیدروژنی تشکیل دهند و در غلظت های بالاتر موجب افزایش حلالیت شدند آنها از کربوکسی متیل سلولز و مالتودکستری در تولید پودر اینولین به روش کف پوشی استفاده کرده بودند (۱۲). همچنین توکلی و همکاران (۱۳۹۰) طی تحقیقی که روی پودر ریواس انجام دادند به این نتیجه رسیدند که اثری که افزایش دمای خشک کن روی افزایش حلالیت داشته است رابطه ی نزدیکی با چگونگی خروج رطوبت از بافت نمونه و همچنین درصد رطوبت نمونه دارد (۲). بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار، معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد:

$$Y = + 73/62 + 0/98B - 2/13AC - 2/59B^2$$

ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۸۲۲۰ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش ۰/۲۱۸۵ بود. این

جدول ۴- تجزیه و تحلیل واریانس حلالیت پودر خرما لوبه

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F مقدار	Prob > F
Model	-	۷۵/۵۰	۹	۸/۳۹	۵/۱۳	۰/۰۰۸۷
Intercept	۷۳/۶۲	-	-	-	-	-
A	۰/۶۶	۴/۳۶	۱	۴/۳۶	۲/۶۶	۰/۱۳۳۷
B	۰/۹۸	۹/۶۰	۱	۹/۶۰	۵/۸۷	۰/۰۳۵۸
C	-۰/۰۶۰	۰/۰۳۶	۱	۰/۰۳۶	۰/۰۲۲	۰/۸۸۵۰
AB	-۰/۳۲	۰/۸۴	۱	۰/۸۴	۰/۵۲	۰/۴۸۸۷
AC	-۲/۱۳	۳۶/۱۳	۱	۳۶/۱۳	۲۲/۰۹	۰/۰۰۰۸
BC	-۰/۷۷	۴/۸۰	۱	۴/۸۰	۲/۹۴	۰/۱۱۷۳
A <sup>2</sup>	۰/۶۱	۱/۰۴	۱	۱/۰۴	۰/۶۳	۰/۴۴۴۶
B <sup>2</sup>	-۲/۵۹	۱۸/۴۰	۱	۱۸/۴۰	۱۱/۲۵	۰/۰۰۷۳
C <sup>2</sup>	۱/۶۱	۷/۱۶	۱	۷/۱۶	۴/۳۸	۰/۰۶۲۹
Lack of Fit	-	۱۱/۰۶	۵	۲/۲۱	۲/۰۹	۰/۲۱۸۵
R-Squared	-	۰/۸۲۲۰	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۶۶۱۷	-	-	-	-

جدول ۵- تجزیه و تحلیل واریانس جذب آب پودر خرما لوبه

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F مقدار	Prob > F
Model	-	۲/۰۳	۹	۰/۲۳	۵/۵۰	۰/۰۰۶۸
Intercept	۳/۹۳	-	-	-	-	-
A	۰/۱۹	۰/۳۸	۱	۰/۳۸	۹/۲۰	۰/۰۱۲۶
B	-۰/۲۲	۰/۴۸	۱	۰/۴۸	۱۱/۸۳	۰/۰۰۶۳
C	-۰/۰۷۲	۰/۰۵۲	۱	۰/۰۵۲	۱/۲۷	۰/۲۸۵۸
AB	-۰/۰۹۸	۰/۰۷۷	۱	۰/۰۷۷	۱/۸۷	۰/۲۰۱۵
AC	-۰/۱۲	۰/۱۱	۱	۰/۱۱	۲/۶۲	۰/۱۳۶۶
BC	-۰/۰۵۵	۰/۰۲۴	۱	۰/۰۲۴	۰/۵۹	۰/۴۶۱۱
A <sup>2</sup>	-۰/۵۵	۰/۳۸	۱	۰/۳۸	۲۰/۲۴	۰/۰۰۱۱
B <sup>2</sup>	۰/۳۳	۰/۳۰	۱	۰/۳۰	۷/۳۴	۰/۰۲۲۰
C <sup>2</sup>	۰/۲۱	۰/۱۲	۱	۰/۱۲	۲/۸۴	۰/۱۲۳۰
Lack of Fit	-	۰/۲۳	۵	۰/۰۴۷	۱/۳۳	۰/۳۸۲۴
R-Squared	-	۰/۸۳۲۰	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۶۸۰۷	-	-	-	-

شرایط محیطی نظیر pH و دما، قدرت یونی محیط و حضور سایر ترکیبات تغییر می کند (۳) با افزایش میزان مالتودکسترین میزان جذب کاهش یافت ولی با افزایش میزان آلومین میزان جذب افزایش یافت (شکل ۵، ۶).

توانایی پودر در جذب و نگهداری آب بر خلاف نیروی جاذبه می باشد. پروتئین ها یکی از مهم ترین عوامل جذب آب می باشد که توانایی جذب آب در آن ها بسته به غلظت پروتئین،

بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار، معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد:

$$Y = +۰/۳۹۳ + ۰/۱۹ A - ۰/۲۲B - ۰/۵۵A^2 + ۰/۳۳B^2$$

ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۸۳۲۰ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش ۰/۳۸۲۴ بود. این مقادیر نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند بخوبی پاسخ مورد نظر را پیش بینی نماید.

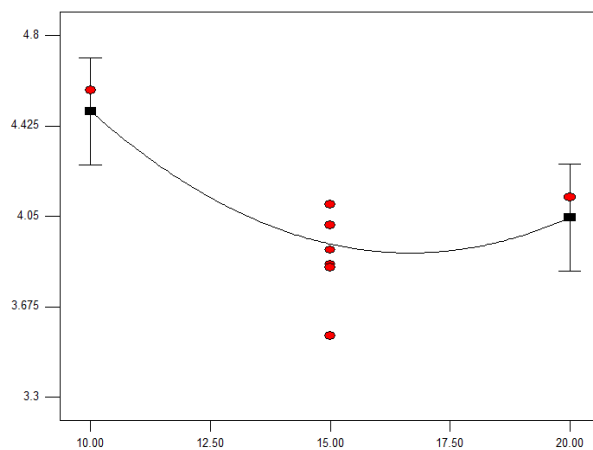
### ۳-۵ اندیس قهوه ای شدن

نتایج حاصل از (جدول ۶) تجزیه واریانس نشان داد که جمله ی خطی دما (C) تاثیر کاملاً معنی داری بر میزان اندیس قهوه ای شدن داشت (شکل ۷). با افزایش دما میزان جذب در طول موج ۴۲۰ افزایش یافته در نتیجه اندیس قهوه ای شدن افزایش می یابد. بیشترین مقدار جذب که رابطه ی مستقیم با شدت رنگدانه های قهوه ای دارد مربوط به نمونه دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و کمترین میزان آن در نمونه ی تهیه شده در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد مشاهده شد، افزایش دما باعث افزایش آهنک و اکشن های قهوه ای شدن مایلارد و تولید رنگدانه های تیره می شود. مشابه این نتیجه رو توکلی و همکاران (۱۳۹۰) عنوان کرده بودند (۲).

بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار، معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد:

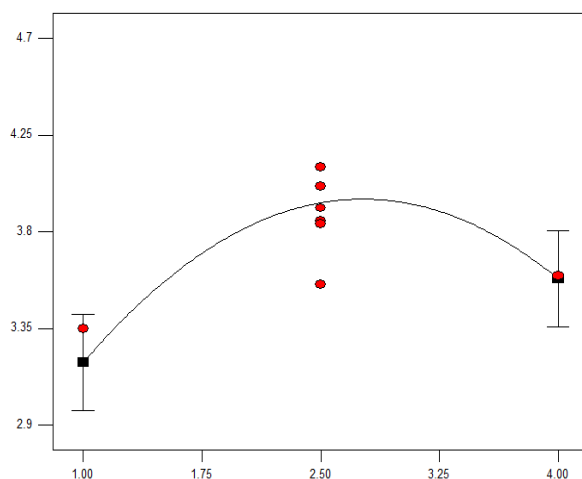
$$Y = +۰/۳۴ + ۱/۱۰۰E - ۰۰۳A$$

ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۳۸۱۱ و مقدار P برای آزمون فقدان برازش ۰/۲۴۱۰ بود. این مقادیر نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند بخوبی پاسخ مورد نظر را پیش بینی نماید.



X1: B: maltodextrin  
X2: Dehydration

شکل ۵- نمایش اثر مالتودکسترین بر میزان جذب آب



X1: A: albumin  
X2: Dehydration

شکل ۶- نمایش اثر آلبومین بر میزان جذب آب

جدول ۶- تجزیه و تحلیل واریانس اندیس قهوه ای شدن پودر خرما

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۰/۰۸۴	۳	۰/۰۲۸	۳/۲۸	۰/۰۴۸۱
Intercept	۰/۳۴	-	-	-	-	-
A	۱/۱۰۰E - ۰۰۳	۱/۲۱۰E - ۰۰۵	۱	۱/۲۱۰E - ۰۰۳	۱/۴۱۸E - ۰۰۳	۰/۹۷۰۴
B	۱/۰۰۰E - ۰۰۳	۱/۰۰۰E - ۰۰۵	۱	۱/۰۰۰E - ۰۰۵	۱/۱۷۲E - ۰۰۳	۰/۹۷۳۱
C	۰/۰۹۲	۰/۰۸۴	۱	۰/۰۸۴	۹/۸۵	۰/۰۰۶۳
Lack of Fit	-	۰/۱۱	۱۱	۰/۰۱۰	۱/۹۴	۰/۲۴۱۰
R-Squared	-	۰/۳۸۱۱	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۲۶۵۱	-	-	-	-



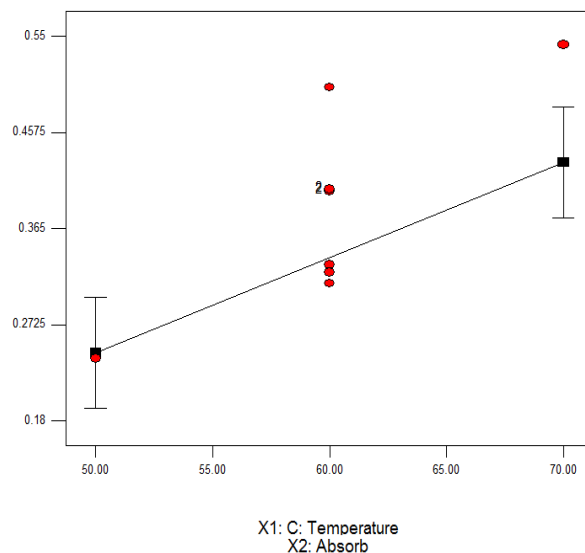
#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از پوره خرمالو همراه با آلومین (۱، ۲/۵ و ۴ درصد) و مالتودکسترین (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) توسط خشک کن هوای داغ در دمای (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد)، پودر خرمالو به روش کف پوشی تولید شد. نتایج حاصل در این تحقیق نشان داد که روش سطح پاسخ را می توان به خوبی در بهینه سازی این فرآیند به کاربرد. شرایط بهینه برای پودر خرمالو، دما ۵۱/۵۷ درجه سانتی گراد، آلومین ۴٪ و مالتودکسترین ۱۲/۷۹٪ بود. دما تاثیر کاملاً معنی داری بر میزان اندیس قهوه ای شدن داشت با افزایش دما، واکنش های قهوه ای شدن افزایش یافت همچنین افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد باعث افزایش میزان دانسیته توده شد و از دمای ۶۰ به ۷۰ باعث کاهش نسبی دانسیته توده گردید. میزان حلالیت با افزایش دما افزایش یافت. از پودر خرمالو تولید شده به روش کف پوشی به عنوان پودر آب میوه یا به عنوان جزئی از فرمولاسیون مواد غذایی می توان استفاده کرد.

#### ۵- منابع

۱. پایان، ر. ۱۳۷۹. ارزش غذایی سیب زمینی، نشریه تخصصی صنایع غذایی، شماره ۷.
۲. توکلی پور، ح. شریفی، ا. و سلامی نیا، م. ۱۳۹۰. تعیین پارامترهای موثر در خشک کردن ریواس با هوای داغ و بررسی امکان تهیه ی پودر از آن. مجله ی علمی پژوهشی علوم و فناوری غذایی، سال سوم، شماره دوم.
۳. خلیلیان، ص. و شهیدی، ف. و محبی، م. ۱۳۹۲. بررسی شرایط خشک کردن بر برخی ویژگی های پودر کنسانتره انار تولیدی به روش کف پوشی، بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه قوچان.
۴. عباسی، ع. و شفافی زنونزبان، م. و الهامی راد، ا. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر خشک کردن کف پوشی بر برخی خصوصیات پودر آلبالو، دومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی قوچان.
۵. موسسه ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۲. اندازه گیری چگالی توده ی فشرده و ریزش آزاد. استاندارد ملی ایران، شماره ی ۳۳۴۵، چاپ اول.

6. Akbulut, M. Ercisli, S. Yildirim, N. Orhan, E and Agar, G. 2008. The comparison of persimmon genotypes (*Diospyrus kaki* Thunb.) by using RAPD and FAME data. Roumanian Biotechnol Lett, 13:3851-8.



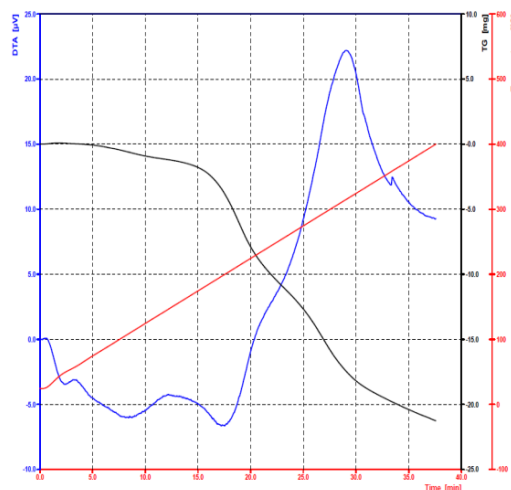
شکل ۷ نمایش اثر دما بر میزان اندیس قهوه ای شدن

#### ۳-۶ تعیین شرایط بهینه سازی پودر خرمالو

جهت تعیین نقطه بهینه از روش بهینه یابی عددی نرم افزار دیزاین اکسپرت استفاده گردید. نتایج بهینه سازی پودر نشان داد، بهترین شرایط بهینه برای پودر خرمالو، دما (۵۱/۵۷ درجه سانتی گراد)، آلومین (۴٪) و مالتودکسترین (۱۲/۷۹٪) بود و ضریب مطلوبیت در این شرایط برای پودر خرمالو ۰/۸۱۲ بود.

#### ۳-۷ دمای گذار شیشه ای (Tg)

نتایج حاصل از دمای گذار شیشه ای در پودر بهینه تولید شده، در دمای ۵۱/۵۷ درجه سانتی گراد، ۷۹/۶۳۰ درجه سانتی گراد بود که این دما میزان پایداری پودر را طی تولید نشان می دهد (شکل ۹). هر چه میزان دمای گذار شیشه ای بیشتر مقاومت پودر بیشتر می باشد (۳).



شکل ۹- نمودار دمای انتقال شیشه ای

7. Cano-chauca, M. Stringheta, P.C. Sardagna, L.D. and Cal-vidal, J. 2004. Mango juice dehydration spray drying using different carries and functional characterization. 14<sup>th</sup> International Drying Symposium, PP. 2005-2012.
8. Damodaran, S. 1997. Protein-stabilized foams and emulsion. In: Damodaran S, Paraf A, editors. Food proteins and their applications. New York: Marcel Dekker, Inc. p25-26.
9. Dunkwal, V. Jood, S & Singh, S. 2007. Physico chemical properties and sensory evaluation of Pleurotussajorcaju powder as influenced by pretreatments and drying methods. British Food Journal, 109(9): 749-759.
10. Fallahi, M. 1991. Food Material science. Second volume. First edition. Gottenberg Press. Tehran.
11. FAO .2009. Fao Stat: Agriculture Data.
12. Harmayani, E. Winari, S and Nuvismanto, R. 2011. Preparation of Inulin Powder from Dioscorea Esculenta Tuber With foam Mat Drying Method. The 12<sup>th</sup> ASEN FOOD CONFERENCE.
13. Hertzendorf, M. S. Moshy, R. J and Seltzer, E. 1970. Foam drying in the food industry C R C Critical Reviews in Food Technology, 1(1): 25-70.
14. Masters, K. 1991. Spray Drying Handbook, 5th ed., Longman Scientific and Technical, England, PP. 152-168.
15. Rajkumar, P. Kailappan, R. Viswanathan, R. and Raghavan, G.S.V. 2007. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. Journal of Food Engineering, 79(4): 1452-1459.