

بهینه یابی شرایط خشک کردن پاششی آب انار با استفاده از روش سطح-پاسخ

فخری شهیدی¹، مهدی وریدی²، محبت محبی³، محمد نوشاد⁴، محمد خلیلیان موحد⁵

- 1- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- 2- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- 3- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
*نویسنده مسئول (mohebbatm@gmail.com)
- 4- دانشجوی دکترای مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- 5- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تاریخ دریافت: 92/08/04

تاریخ پذیرش: 93/02/20

واژه‌های کلیدی

انار
بهینه یابی
خشک‌کن پاششی
روش سطح پاسخ

روش سطح پاسخ به منظور تعیین نقاط بهینه فرآیند خشک کردن پاششی آب انار، جهت دست یابی به کمینه مقدار محتوی رطوبتی، فعالیت آب و شاخص روشنایی و بیشینه مقدار فنل کل، مقدار کل آنتوسیانین و اندازه ذرات مورد استفاده قرار گرفت. دمای هوای ورودی خشک کن (170-120 درجه سانتی‌گراد)، دبی خوراک (1/1-0/3 میلی‌لیتر بر ثانیه) و نسبت آب میوه به مالتودکسترین (0/8-0/6)، فاکتورهایی بودند که تأثیر آنها بر متغیرهای وابسته طی خشک کردن پاششی مورد ارزیابی قرار گرفت. آنالیز واریانس (ANOVA) و تجزیه رگرسیون خطی چند گانه، برای هر پاسخ انجام پذیرفت. در شرایط بهینه به دست آمده (دمای ورودی خشک‌کن 170 درجه سانتی‌گراد، نسبت آب میوه به مالتودکسترین 0/6 و دبی خوراک 0/55 میلی‌لیتر بر ثانیه)، میزان محتوی رطوبتی، فعالیت آب، شاخص روشنایی، فنل کل، مقدار کل آنتوسیانین و اندازه ذرات به ترتیب 4/3687 % (وزن نمونه g/مقدار آب g)، 8/4655، 85/0287، 607/836 (میلی‌گرم اسید گالیک در گرم نمونه)، 3/7762 (1 گرم نمونه/سیانیدین-3 گلوکوسید mg) و 41/7944 (میکرومتر) مشخص شد.

مقدمه

گرجستان، ژاپن، آمریکا و اسپانیا کشت این محصول مرسوم است. به طوری که میزان تولید انار در جهان در سال 2012 حدود 1800000 تن، و ایران سهم 47 درصدی در تولید جهان را دارا بوده است (FAO 2012). با توجه به این که محصولات درجه 2 و 3 انار قابلیت صادرات ندارند و هم چنین ماندگاری آن‌ها به دلیل ترک خوردگی و وضعیت فیزیولوژیکی میوه محدود است، بنابراین می‌توان با فرآوری این محصول و تهیه فرآورده‌های مختلف مانند کنستانتره، آب میوه، رب و غیره مصرف این دسته از میوه‌ها را به نحو

انار با نام علمی *Punica Granatum* از خانواده *Pinaceae* است. کلمه انگلیسی Pomegranate در زبان یونانی به معنی سیب با هسته‌های زیاد می‌باشد. به علت بومی بودن انار در منطقه خاورمیانه بیشترین سطح زیر کشت دنیا مربوط به همین نواحی می‌باشد. در حال حاضر علاوه بر ایران که بیشترین میزان سطح زیر کشت و تولید انار در جهان را به خود اختصاص داده است، در کشورهایی چون ترکیه، افغانستان، هندوستان،

سیکلون مهم‌ترین مشکلی است که همراه با تولید پودر آب میوه‌ها می‌باشد. در مواد غذایی که حاوی مقادیر زیادی از قندهای ساده مانند ساکارز، گلوکز و فروکتوز و اسیدهای آلی مانند اسیدسیتریک، اسید مالیک می‌باشند به علت چسبندگی زیاد، تولید پودر تقریباً غیرممکن است. در چنین مواقعی تعیین شرایط بهینه‌ی فرآیند که در آن پودر با بهترین خواص کیفی به دست می‌آید، حائز اهمیت خواهد بود. در این میان، روش سطح پاسخ بیشترین کاربرد را دارد (Horuz *et al.*, 2012). روش سطح-پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری است که جهت توسعه و بهینه کردن فرایندهایی به کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و هدف، توصیف رابطه‌ی بین پاسخ و متغیرهای مستقل توسط مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی این پاسخ می‌باشد (Bas & Boyaci, 2007). مدل مورد استفاده در روش سطح پاسخ، عموماً رابطه‌ی درجه دوم می‌باشد. مدل درجه دوم را می‌توان به صورت ذیل نوشت:

رابطه (1)

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i,j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j$$

که β_0 ، عرض از مبدأ و β_i ، β_{ii} و β_{ij} ضرایب رگرسیونی به ترتیب خطی، درجه دوم و برهم‌کنش و X_i و X_j متغیرهای مستقل کدبندی شده هستند. ضرایب مدل با استفاده از روش حداقل مربع‌ها¹ محاسبه می‌گردند که یک تکنیک رگرسیونی چندگانه است (Rouissi *et al.*, 2007). پس از به دست آوردن ضرایب رگرسیونی، پاسخ تخمین زده شده را می‌توان به سادگی با استفاده از رابطه مدل محاسبه کرد. معمولاً رفتار سیستم ناشناخته است و بنابراین باید توان برآزش مدل بر داده‌های آزمایش را بررسی کرد. برای ارزیابی کفایت مدل، تکنیک‌های مختلفی وجود دارند. تعدادی از این تکنیک‌ها شامل آنالیز خطا²، مقیاس بندی خطاها³، مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی⁴ و آزمون ضعف برآزش¹ می‌باشند (Rouissi *et al.*, 2007; Koc *et al.*, 2010).

مطلوبی فراهم آورد. روش خشک کردن و تهیه پودر در صنایع غذایی یکی از بهترین و قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی است. معمولاً در فرآوری میوه‌ها تولید کنسانتره مورد توجه می‌باشد، ولی به دلیل عمر نسبتاً کوتاه آن، ضایعات و خسارات بسیار را به تولید وارد می‌سازد، به همین دلیل تولید پودر آب میوه موجب جلوگیری از هدر رفتن آن می‌شود و هر کارخانه‌ی تولید کنسانتره و آب میوه می‌تواند به عنوان یک محصول جانبی، تولید پودر آب میوه را نیز مد نظر قرار دهد. در خشک‌کن‌های پاششی به منظور به دست آوردن پودر خشک از خوراک مایع استفاده می‌شوند (Goula & Adamopoulos, 2004; Mestry, *et al.*, 2011). در خشک‌کن پاششی، مایع از مخزن تغذیه، توسط پمپ به پاشنده پمپاژ می‌شود و از طریق پاشنده به شکل قطرات ریزی در محفظه خشک‌کن پاشیده می‌شود. هوا نیز پس از تماس با یک گرم‌کن، گرم شده و توسط دمنده به توزیع کننده هوا می‌رسد. توزیع کننده هوا که در اطراف پاشنده قرار دارد، هوا را وارد محفظه خشک‌کن می‌کند. تماس هوای داغ با قطرات کوچک مایع سبب انتقال جرم و حرارت بین قطره و هوا می‌شود که موجب تبخیر سریع آب آن می‌گردد. مخلوط پودرهای تولید شده و هوا از طریق یک مکند وارد سیکلون شده و پودر و هوا از هم جدا می‌شوند (Jangam & Thorat, 2010; Goula & Adamopoulos, 2004).

خواص فیزیکی پودرهای تولید شده بسیار مهم است و اساساً به پارامترهای شرایط عملیات مانند سرعت خوراک‌دهی، دما، نوع نازل و غیره بستگی دارد. در مطالعاتی که بر روی انواع آب میوه‌های خشک شده صورت پذیرفته، نشان داده‌اند که تقریباً تمام آب میوه‌ها برای خشک شدن نیاز به افزودنی دارند و مالتودکسترین پرکاربردترین افزودنی می‌باشد (Tonon *et al.*, 2009; Abadio *et al.*, 2004; Yousefi *et al.*, 2011). (Ghobadian & Chegini, 2005) گزارش دادند که شرایط خشک کردن پاششی مانند سرعت خوراک‌دهی، سرعت اتومایزر و دمای هوا بر خواص فیزیکی پودر آب پرتقال مؤثر است. چسبندگی ذرات با هم و به دیواره خشک‌کن و

1- Least squares

2- Residual analysis

3- Scaling residuals

4- Prediction error sum of squares (PRESS)

اندازه‌گیری رنگ

جهت اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها از دستگاه هانتربل (Chroma Meter CR-410, Japan) استفاده شد. رنگ‌سنج ابتدا با استفاده از صفحه کالیبراسیون سیاه و سپس سفید کالیبره گردید و پس از آن رنگ‌سنجی نمونه‌ها انجام گرفت (Horuz *et al.*, 2012).

اندازه‌گیری اندازه ذرات

روش پراکندگی دینامیکی نور (DLS^2) روشی نسبتاً سریع برای تعیین اندازه ذرات و توزیع آن است. در این پژوهش، از این روش برای تعیین اندازه ذرات استفاده شد. هر یک از اندازه‌گیری‌ها حداقل سه مرتبه تکرار گردید. نتایج به دست آمده از تکرارپذیری خوبی برخوردار بودند (Ferrari *et al.*, 2012).

اندازه‌گیری آنتوسیانین

مقدار کل آنتوسیانین نمونه‌ها (TAC^3) با استفاده از روش افتراقی pH با دو سیستم بافر استفاده شد. بافر کلرید پتاسیم با $pH=1$ (0/025 M) و بافر استات سدیم با $pH=4/5$ (0/4M) استفاده شد. برای این منظور 2 گرم از پودر را تقریباً در 20 میلی‌لیتر آب مقطر حل نموده و سپس نمونه‌ها به مدت 15 دقیقه با 4000 rpm سانتریفیوژ (Sigma-) (Laborzentrifugen, Germany) شدند. 1 میلی‌لیتر از نمونه‌ها با 24 میلی‌لیتر از بافرها مخلوط شدند و سپس در طول موج 510 و 700 نانومتر در مقابل آب به عنوان شاهد، مقدار جذب توسط نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (RAYLEIGH.UV-2601) خوانده شد.

رابطه (2)

$$A = (A_{510} - A_{700}) pH_{1.0} - (A_{510} - A_{700}) pH_{4.5}$$

که A_{510} و A_{700} به ترتیب مقدار جذب توسط

نمونه‌ها در طول موج 510 و 700 نانومتر می‌باشد.

مقدار کل آنتوسیانین هر نمونه (mg cyaniding-)

(3-glycoside/100 ml) با استفاده از معادله زیر

محاسبه شد:

در این پژوهش از روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه تولید پودر آب انار به منظور دستیابی به بهترین ویژگی‌های فیزیکی پودر تولید شده، استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

کنسانتره آب انار از کارخانه رضوی مشهد (بریکس 65) تهیه شد. ابتدا با اضافه کردن آب به کنسانتره، آب انار با بریکس 12 تهیه، و سپس درصدهای مختلفی از مالتودکسترین به آن اضافه شد. مالتودکسترین با $DE=20$ (Sigma) خریداری شد. نمونه‌ها قبل از تزریق به خشک‌کن پاششی (Two-Flow nozzle, Counter-current, Soroush, Iran) توسط همزن (Gosonic-GHM818-200W, China) با سرعت 150rpm مخلوط گردیده و همگن شدند و جهت اطمینان از نداشتن هیچ گونه ذرات معلق که در پاشنده ایجاد مشکل کند، قبل از تزریق از پارچه‌ی صافی عبور داده شدند. پس از انجام آزمایشات مقدماتی نسبت آب میوه به مالتودکسترین ($\frac{FJ}{MD}$) (0/6-0/8)، دمای ورودی خشک‌کن (Tem) (170، 145، 120 درجه سانتی‌گراد) و دبی خوراک (1/1-0/3 میلی‌لیتر بر ثانیه) انتخاب گردید. پودر تولید شده نمونه‌های مختلف درون ظروف پلاستیکی در دمای 4 درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند.

اندازه‌گیری محتوی رطوبت

محتوی رطوبتی آب میوه اولیه و پودر تولید شده با استفاده از روش AOAC (1995) محاسبه شد. برای این منظور نمونه‌ها در دمای 105 درجه سانتی‌گراد در آون (UNB400, Germany) به مدت 6 ساعت نگهداری شدند (Chemists & Cunniff, 1995).

اندازه‌گیری فعالیت آب

در این پژوهش جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آب نمونه‌ها از دستگاه اندازه‌گیری فعالیت آب (Rotronic-Hygrolab) استفاده شد.

رابطه (3)

$$TAC = \frac{A \times MW \times DF \times 100}{MA}$$

که MW، وزن مولکولی سیانیدین 3- گلوکوسید (4492)، DF فاکتور رقیق سازی (25) و MA ضریب خاموشی مولی سیانیدین 3- گلوکوسید (26900) می باشد (Robert et al., 2010; Horuz et al., 2012).

سرد نگه‌داری شد. جذب نوری آن توسط اسپکتروفتومتر (RAYLEIGH.UV-260) در طول موج 765 نانومتر خوانده شد. مقادیر فنل کل در نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد برحسب میلی‌گرم اسیدگالیک در گرم نمونه بیان گردید (Elfalleh et al., 2012; Lako et al., 2007).

تجزیه و تحلیل آزمایش‌ها

اثرات متغیرهای مستقل بر روی پاسخ‌ها با استفاده از رویه سطح پاسخ و طرح باکس- بنکن در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت با انجام آزمایش‌های مقدماتی، محدوده متغیرهای مورد بررسی تعیین و پس از وارد کردن آنها به نرم افزار Design-Expert 6.0.2 طرح آزمایش‌ها (جدول 1) شامل 17 آزمون به دست آمد.

اندازه‌گیری فنل کل

مقادیر فنل کل نمونه‌ها با استفاده از روش فولین- سیوکالتو اندازه‌گیری گردید. بر اساس این روش، در لوله آزمایش 0/5 میلی‌لیتر محلول متانولی با 0/5 میلی‌لیتر معرف فولین- سیوکالتو و 4 میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم (1 مولار) اضافه و مخلوط شد. بعد از 5 دقیقه نگه‌داری در حمام آب گرم با دمای 45 درجه سانتی‌گراد لوله‌های آزمایش درون حمام آب

جدول 1- طرح آزمایش‌ها

شماره آزمون	دمای ورودی خشک کن (°C)	نسبت آب میوه به مالتو دکسترین ($\frac{F1}{MD}$)	متغیرها	دبی خوراک (میلی لیتر بر ثانیه)
1	120	0/6		0/7
2	145	0/8		1/1
3	170	0/8		0/7
4	145	0/6		0/3
5	145	0/7		0/7
6	120	0/7		1/1
7	145	0/7		0/7
8	145	0/8		0/3
9	120	0/7		0/3
10	170	0/6		0/7
11	145	0/7		0/7
12	120	0/8		0/7
13	145	0/7		0/7
14	170	0/7		0/3
15	145	0/6		1/1
16	170	0/7		1/1
17	145	0/7		0/7

نتایج و بحث

همان‌طور که در جدول 2 مشاهده می‌شود، مدل درجه دوم کاسته شده برای میزان محتوای رطوبت نمونه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بوده ($P < 0/0001$) است. عبارت‌های مدل که معنی‌دار بوده‌اند شامل

دمای ورودی خشک‌کن (A)، نسبت آب میوه به مالتو دکسترین (B)، $P < 0/0001$ ، برهمکنش میان دمای ورودی خشک‌کن و نسبت آب میوه به مالتو دکسترین (AB) و $P < 0/0011$ و عبارت درجه دوم دمای ورودی خشک‌کن (A^2)، $P < 0/0036$ و

حرارت به درون نمونه‌ها افزایش می‌یابد که همین امر سبب افزایش سرعت تبخیر آب می‌شود (Rodríguez et al., 2005; Papadakis et al., 2006). همچنین نتایج نشان می‌دهد که محتوی رطوبتی نمونه‌ها با افزایش مقدار مالتودکسترین کاهش می‌یابد که این امر احتمالاً به دلیل افزایش مقدار ماده جامد در خوراک ورودی به خشک‌کن است که سبب کاهش مقدار آب آزاد برای تبخیر می‌شود (Abadio et al., 2004).

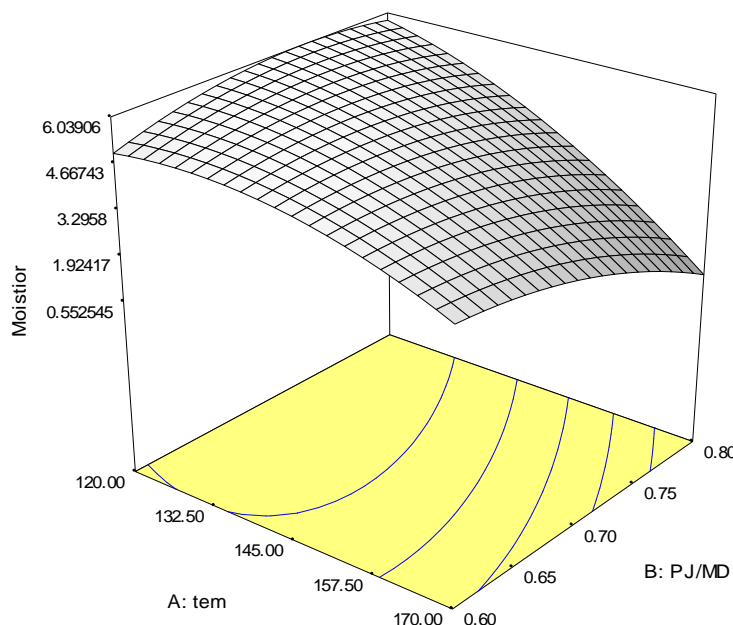
نسبت آب میوه به مالتودکسترین (B^2 , $P < 0/0171$) می‌باشد.

شکل 1 بیانگر تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان محتوی رطوبتی به صورت شمای سه بعدی رویه‌ی پاسخ می‌باشد. رابطه‌ی دمای ورودی خشک‌کن و نسبت آب میوه به مالتودکسترین با میزان محتوی رطوبتی در شکل 1، مشاهده می‌شود. با افزایش دمای ورودی خشک‌کن میزان محتوی رطوبتی پودرها کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش دما سرعت انتقال

جدول 2- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای میزان محتوی رطوبتی

منبع	درجه آزادی	ضرایب	میانگین مربعات	F احتمال
مدل	5		6/58	< 0/0001
A	1	-1/72	23/64	< 0/0001
B	1	-0/5	2/01	0/0059
A ²	1	-0/75	2/36	0/0036
B ²	1	-0/57	1/37	0/0171
AB	1	-0/91	3/29	0/0011
ضعف برازش	7		0/22	0/1857 ^{ns}
R ²		0/945		

^{ns} در سطح 95 درصد معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل 1- نمودار رویه پاسخ میزان محتوی رطوبتی در برابر دما و نسبت آب میوه به مالتودکسترین

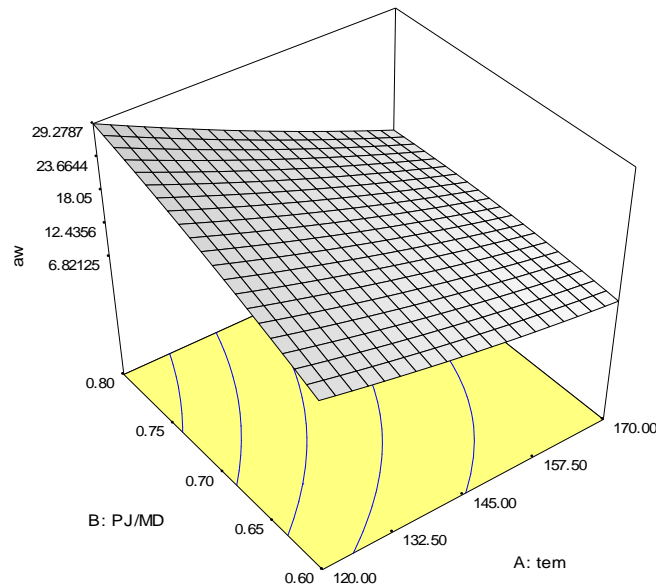
سوی دیگر با افزایش مقدار مالتودکسترین میزان فعالیت آب نمونه‌ها کاهش می‌یابد. در شکل 4 مشاهده می‌شود که با افزایش دبی خوراک میزان فعالیت آب نمونه افزایش می‌یابد. این نتایج با گزارش سایر محققان مطابقت دارد (Jangam & Thorat, 2010; Quek *et al.*, 2007; Tonon *et al.*, 2009).

نتایج تجزیه واریانس مربوط به فعالیت آب نمونه‌ها نشان‌دهنده کارایی مدل به دست آمده در سطح $P < 0/0001$ می‌باشد (جدول 3). رابطه دمای ورودی خشک‌کن و نسبت آب میوه به مالتودکسترین بر میزان تغییرات فعالیت آب (شکل 2)، بیانگر کاهش میزان فعالیت آب نمونه با افزایش دما می‌باشد. از

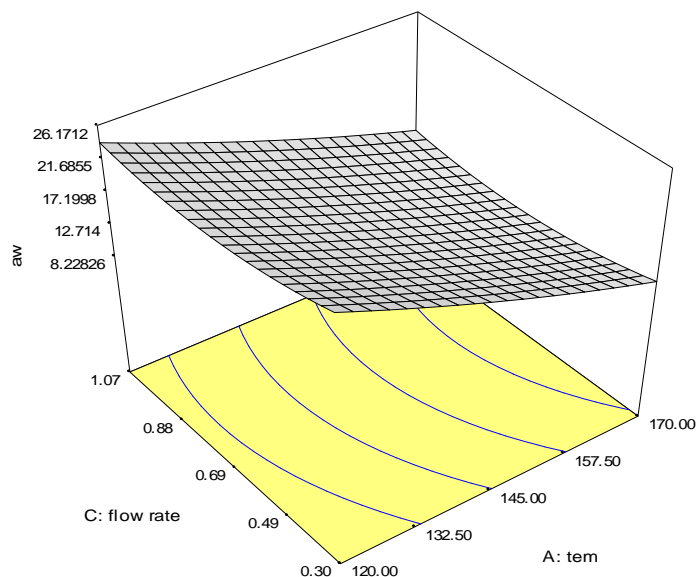
جدول 3- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای میزان فعالیت آب

منبع	درجه آزادی	ضرایب	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	5		123/54	< 0/0001
A (دمای ورودی خشک کن)	1	-7/42	441/04	< 0/0001
B (نسبت آب میوه به مالتودکسترین)	1	3/8	115/75	< 0/0001
C (دبی خوراک)	1	-0/9	6/43	0/129
C ²	1	1/91	15/4	0/0274
AB	1	-3/13	39/06	0/0019
ضعف برازش	7		22/06	0/1519 ^{ns}
R ²		0/959		

^{ns} در سطح 95 درصد معنی‌دار نمی‌باشد



شکل 3- نمودار رویه پاسخ میزان فعالیت آب در برابر دما و نسبت آب میوه به مالتودکسترین



شکل 4- نمودار رویه پاسخ میزان فعالیت آب در برابر دما و دبی خوراک

معنی‌داری بر میزان شاخص روشنایی داشتند. تجزیه واریانس همچنین نشان داد که مقدار ضعف برازش برای مدل در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار نبود.

تجزیه واریانس برای تعیین معنی‌دار بودن تأثیر متغیرهای فرایند بر شاخص روشنایی (L value) انجام شد. جدول 4 نشان می‌دهد که دمای ورودی خشک‌کن و نسبت آب میوه به مالتو دکسترین تأثیر

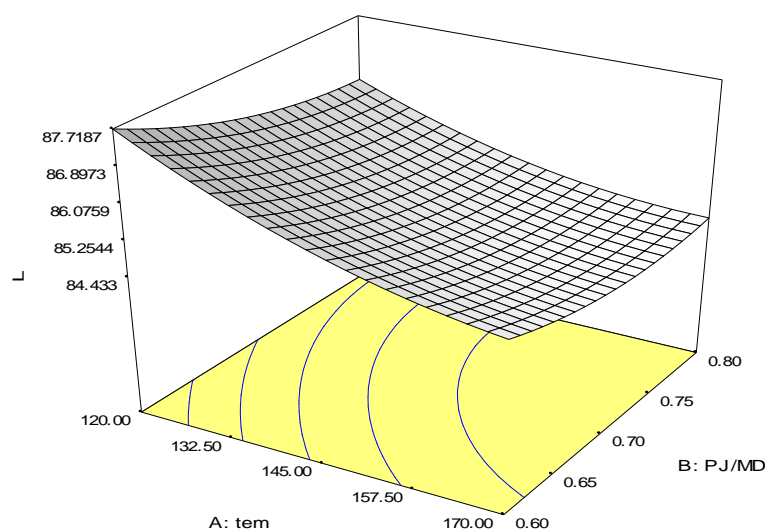
جدول 4- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای شاخص روشنایی (L value)

منبع	درجه آزادی	ضرایب	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	5		5/59	< 0/0001
A (دمای ورودی خشک کن)	1	-1/05	8/9	< 0/0001
B (نسبت آب میوه به مالتو دکسترین)	1	-0/53	2/28	0/0145
ضعف برازش	10		0/21	0/8846 ^{ns}
R²		0/847		

^{ns} در سطح 95 درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

می‌شود که در نتیجه سبب کاهش شاخص روشنایی (L value)، می‌شود (Horuz et al., 2012). از سوی دیگر افزایش میزان شاخص روشنایی (L value)، می‌شود. افزایش مالتو دکسترین سبب کاهش مقدار رنگ در نمونه‌ها می‌شود به عبارت دیگر مالتو دکسترین (به دلیل داشتن رنگ سفید)، سبب رقیق‌سازی نمونه‌ها از لحاظ مواد رنگی می‌شود. نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (Kha et al., 2010; Quek et al., 2007; Rodriguez-Hernandez et al., 2005).

برای بررسی تأثیر توأم فاکتورهای مؤثر بر پاسخ، نمودار سطح پاسخ برای مدل برازش شده ارائه شد. شکل 5 تأثیر دمای ورودی خشک‌کن و نسبت آب میوه به مالتو دکسترین را بر میزان شاخص روشنایی نشان می‌دهد. با افزایش دمای ورودی خشک‌کن میزان شاخص روشنایی (L value)، کاهش می‌یابد. افزایش دما سبب خروج بیشتر آب از نمونه‌ها می‌شود که این امر باعث تغلیظ پیگمان‌های درون نمونه‌ها می‌شود. همچنین افزایش دما سبب کاراملیزاسیون قندها و واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی در نمونه‌ها



شکل 5- نمودار رویه پاسخ میزان شاخص روشنایی (L value) در برابر دما و نسبت آب میوه به مالتودکسترین

شامل دمای ورودی خشک‌کن، نسبت آب میوه به مالتودکسترین و عبارت درجه دوم دمای ورودی خشک‌کن بودند.

جدول 5 نتایج حاصل از تجزیه آماری را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول برای میزان فنل کل، مدل درجه دوم کاسته از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0/0001$)، سایر عبارت‌های معنی‌دار مدل نیز

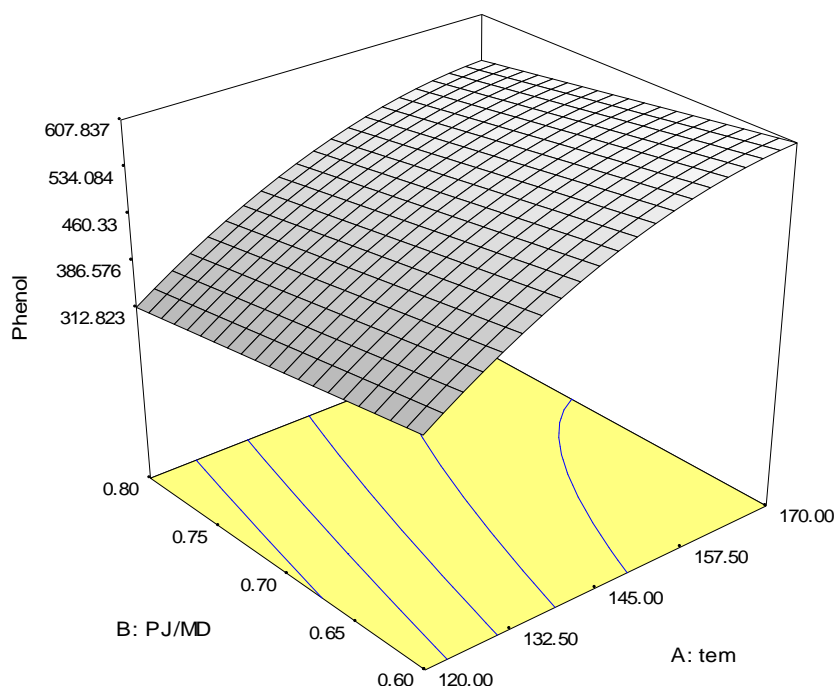
جدول 5- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای فنل کل

منبع	درجه آزادی	ضرایب	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	3		39113/47	<0/0001
A (دمای ورودی خشک کن)	1	26/242	96645/28	<0/0001
B (نسبت آب میوه به مالتو دکسترین)	1	-375/9514	11307/16	0/0006
A ²	1	-0/0753	9387/96	0/0012
ضعف برازش	9		745/55	0/1428 ^{ns}
R ²		0/943		

^{ns} در سطح 95 درصد معنی‌دار نمی‌باشد

مقدار فنل کل افزایش می‌یابد که این امر به دلیل اثر ریزپوشانی مالتودکسترین است که به عنوان دیواره ترکیبات فنلی را در بر گرفته و باعث حفاظت ترکیبات فنلی درباره عوامل خارجی می‌شود (Kha et al., 2010). Stewart و همکاران (2000)، دریافتند که افزایش دما باعث افزایش مقدار فلاوانول آزاد سبزی‌ها می‌شود.

در شکل 6، اثر همزمان دو متغیر بر میزان کل فنل نشان داده شده است. در غلظت‌های کم و زیاد مالتودکسترین، افزایش دما سبب افزایش مقدار فنل کل می‌شود که این امر احتمالاً به دلیل غیرفعال شدن آنزیم‌های پلی‌فنل در طی فرآیند حرارتی می‌باشد (Horuz et al., 2012; Capanoglu et al., 2010). همچنین در دمای بالا با افزایش مقدار مالتودکسترین،



شکل 6- نمودار رویه پاسخ مقدار فنل کل در برابر دما و نسبت آب میوه به مالتو دکسترین

ضعف برازش می‌توان دریافت، مدل به خوبی می‌تواند بر داده‌های مورد بررسی برازش شود. با توجه به جدول 6، معنی‌دار نبودن ضعف برازش و مقدار بالا R^2 (0/97) بیانگر قدرت بالای مدل درجه دوم در پیش‌بینی بود (Myers & Anderson-Cook, 2009). شکل 7 تأثیر دمای ورودی خشک‌کن و نسبت آب میوه به مالتو دکسترین بر مقدار کل آنتوسیانین را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول 6، مشاهده می‌شود، مدل درجه دوم کاسته شده برای مقدار کل آنتوسیانین از نظر آماری معنی‌دار بوده ($P < 0/0001$) است. به طور متداول جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و آزمون ضعف برازش استفاده می‌شود. معنی‌دار بودن آزمون ضعف برازش برای یک مدل بیانگر این است که نقاط به خوبی اطراف مدل قرار نگرفته‌اند و نمی‌توان از مدل برای پیش‌گویی مقادیر متغیرهای تابع استفاده نمود. بنابراین با عدم معنی‌داری آزمون

جدول 6- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای کل آنتوسیانین

منبع	درجه آزادی	ضرایب	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	3		4/72	<0/0001
A (دمای ورودی خشک کن)	1	-1/19	11/29	<0/0001
B (نسبت آب میوه به مالتو دکسترین)	1	-0/57	2/59	<0/0001
B^2	1	0/25	0/27	0/0147
ضعف برازش	9			0/1677 ^{ns}
R^2		0/97		

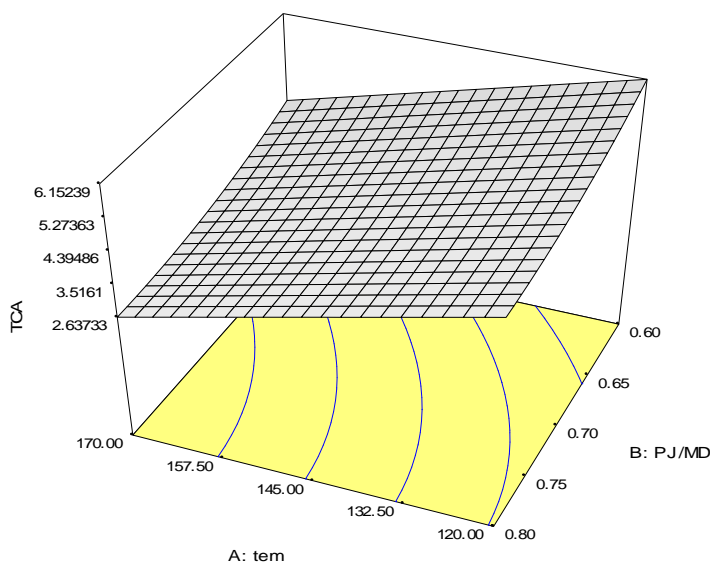
^{ns} در سطح 95 درصد معنی‌دار نمی‌باشد

می‌شود. زیرا مالتو دکسترین نمی‌تواند به طور مؤثر سبب انکپسولاسیون آنتوسیانین‌ها شود که همین امر

با توجه به شکل 7، در مقادیر کم مالتو دکسترین، افزایش دما سبب کاهش بیشتر مقدار کل آنتوسیانین

رطوبتی بالاتر تمایل به انباشت دارند. فرآیند آگلومریزاسیون باعث می‌شود که پودر کمتر در معرض اکسیژن قرار گیرد که همین امر سبب حفاظت آنتوسیانین‌ها در برابر اکسیداسیون می‌شود (Quek *et al.*, 2007; Horuz *et al.*, 2012).

سبب کاهش سریع در مقدار کل آنتوسیانین می‌شود. بنابراین با افزایش مقدار مالتودکسترین، با توجه به اثر انکیپسولاسیون آن، مقدار کل آنتوسیانین افزایش می‌یابد (Ersus & Yurdagel, 2007). همچنین پودرهای تولید شده در دمای پایین‌تر به علت محتوی



شکل 7- نمودار رویه پاسخ مقدار کل آنتوسیانین در برابر دما و نسبت آب میوه به مالتو دکسترین

شامل دمای ورودی خشک‌کن، نسبت آب میوه به مالتودکسترین و عبارت درجه دوم دمای ورودی خشک‌کن بودند.

جدول 7 نتایج حاصل از تجزیه آماری را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (7) برای اندازه ذرات، مدل درجه دوم کاسته از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0/0001$)، سایر عبارت‌های معنی‌دار مدل نیز

جدول 7- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای اندازه ذرات

منبع	درجه آزادی	ضرایب	میانگین مربعات	احتمال F
مدل	3		437/24	<0/0001
A (دمای ورودی خشک کن)	1	12/15	1181/27	<0/0001
B (نسبت آب میوه به مالتو دکسترین)	1	-3/61	104/17	<0/0001
A ²	1	2/49	26/29	0/0089
ضعف برازش	9			0/6324 ^{ns}
R ²		0/973		

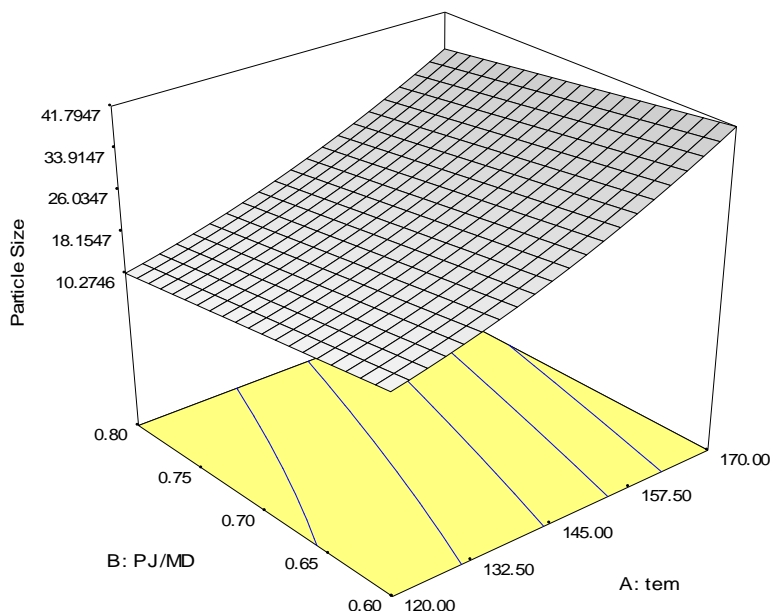
^{ns} در سطح 95 درصد معنی‌دار نمی‌باشد

ذرات در طی خشک کردن پاششی نمونه‌ها جلوگیری می‌کند. به عبارت دیگر با کاهش دمای خشک‌کن، سرعت خشک کردن کاهش می‌یابد که همین امر سبب افزایش چروکیدگی ذرات و کاهش اندازه آنها می‌شود. همچنین با افزایش غلظت مالتودکسترین، اندازه ذرات افزایش می‌یابد (Kurozawa *et al.*, 2009;)

با توجه به شکل 8، افزایش دما سبب افزایش اندازه ذرات می‌شود. قرار گرفتن ذرات در معرض دمای بالا، سبب افزایش سرعت تبخیر در نمونه‌ها می‌شود که همین امر باعث متورم شدن ذرات می‌شود. همچنین با افزایش سرعت تبخیر پوسته‌ای محکم اطراف ذرات تشکیل می‌شود که از چروکیدگی

خوراک ورودی به دستگاه، اندازه ذرات نیز افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش غلظت مالتودکسترین باعث افزایش ویسکوزیته خوراک ورودی به خشک‌کن می‌شود به همین دلیل اندازه ذرات افزایش می‌یابد.

بر طبق (Tonon *et al.*, 2009; Ferrari *et al.*, 2012 یافته‌های Goula و Adamopoulos (2010)، اندازه ذرات به دست آمده از خشک‌کن‌های پاششی به خواص فیزیکی و غلظت خوراک ورودی به خشک‌کن بستگی دارد. به طوری که با افزایش ویسکوزیته محلول



شکل 8- نمودار رویه پاسخ اندازه ذرات در برابر دما و نسبت آب میوه به مالتو دکسترین

روش سطح پاسخ با به‌کارگیری طرح باکس-بنکن، جهت بررسی اثرات متغیرهای دمای ورودی خشک‌کن، دبی خوراک و نسبت آب میوه به مالتودکسترین بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر انار شامل مقدار محتوی رطوبتی، فعالیت آب و شاخص روشنایی، مقدار فنل کل، کل آنتوسیانین و اندازه ذرات استفاده شد. در این مطالعه بر تعیین شرایط بهینه‌ی دستیابی به کمینه نمودن مقدار محتوی رطوبتی، فعالیت آبی و شاخص روشنایی و بیشینه نمودن مقدار فنل کل، کل آنتوسیانین و اندازه ذرات متمرکز شده است. شرایط بهینه به دست آمده شامل میزان محتوی رطوبتی، فعالیت آبی، شاخص روشنایی، فنل کل، مقدار کل آنتوسیانین و اندازه ذرات به ترتیب 4/3687٪ (وزن نمونه g / مقدار آب g)، 8/4655، 85/0287، 607/836 (میلی‌گرم اسید گالیک در گرم نمونه)، 3/7762 (1 گرم نمونه/سیانیدین-3 گلوکوسید mg) و 41/7944 (میکرومتر) می‌باشد.

بهینه‌یابی

بهینه‌یابی تولید پودر آب انار به وسیله‌ی خشک‌کن پاششی با هدف کمینه نمودن مقدار محتوی رطوبتی، فعالیت آبی و شاخص روشنایی و بیشینه نمودن مقدار فنل کل، کل آنتوسیانین و اندازه ذرات با استفاده از روش سطح پاسخ انجام و شرایط بهینه، شامل دمای ورودی خشک‌کن 170 درجه سانتی‌گراد، نسبت آب میوه به مالتودکسترین 0/6 و دبی خوراک 0/55 میلی‌لیتر بر ثانیه انتخاب شد. در این نقطه میزان محتوی رطوبتی، فعالیت آب، شاخص روشنایی، فنل کل، مقدار کل آنتوسیانین و اندازه ذرات به ترتیب 4/3687٪ (وزن نمونه g / مقدار آب g)، 8/4655، 85/0287، 607/836 (میلی‌گرم اسید گالیک در گرم نمونه)، 3/7762 (1 گرم نمونه/سیانیدین-3 گلوکوسید mg) و 41/7944 (میکرومتر) محاسبه شدند.

نتیجه‌گیری

منابع

- 1- Abadio, F., Domingues, A., Borges, S., & Oliveira, V. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64 (3): 285-287.
- 2- Bas, D., Boyaci, H., & Smail H. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78 (3): 836-845.
- 3- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., De Vos, R.C., & Hall, R.D. 2010. The effect of industrial food processing on potentially health-beneficial tomato antioxidants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50 (10):919-930.
- 4- Chegini, G. & Ghobadian, B. 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23 (3): 657-668.
- 5- Chemists, A.O.O.A. & Cunniff, P. 1995. Official methods of analysis of the association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists.
- 6- Elfalleh, W., Hannachi, H.D., Tlili, N., Yahia, Y., Nasri, N., & Ferchichi, A. 2012. Total phenolic contents and antioxidant activities of pomegranate peel, seed, leaf and flower. *Journal of Medical Plants Research*, 6: 4724-4730.
- 7- Ersus, S., & Yurdagel, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota*.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80 (3): 805-812.
- 8- FAO. 2012. Statistical Database.
- 9- Ferrari, C.C., Germer, S.P.M., & De Aguirre, J.M. 2012. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. *Drying Technology*, 30 (2): 154-163.
- 10- Goula, A.M. & Adamopoulos, K.G. 2004. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. *Drying Technology*, 22 (10): 2309-2330.
- 11- Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11 (2): 342-351.
- 12- Horuz, E., Altan, A., & Maskan, M. 2012. Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Drying Technology*, 30 (7): 787-798.
- 13- Jangam, S.V. & Thorat, B.N. 2010. Optimization of spray drying of ginger extract. *Drying Technology*, 28 (12): 1426-1434.
- 14- Kha, T.C., Nguyen, M.H. & Roach, P.D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98 (3): 385-392.
- 15- Koc, B., Yilmazer, M.S., Balkçınar, P.N. & Ertekin, F.K. 2010. Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. *Drying Technology*, 28 (4): 495-507.
- 16- Kurozawa, L.E., Morassi, A.G., Vanzo, A.A., Park, K.J., & Hubinger, M.D. 2009. Influence of spray drying conditions on physicochemical properties of chicken meat powder. *Drying Technology*, 27 (11): 1248-1257.
- 17- Lako, J., Trenerry, V.C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. 2007. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101 (4): 1727-1741.

- 18- Mestry, A., Mujumdar, A., & Thorat, B. 2011. Optimization of spray drying of an innovative functional food: Fermented mixed juice of carrot and watermelon. *Drying Technology*, 29 (10): 1121-1131.
- 19- Myers, R.H., & Anderson-Cook, C.M. 2009. *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. Wiley. com.
- 20- Papadakis, S.E., Gardeli, C., & Tzia, C. 2006. Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 24 (2): 173-180.
- 21- Quek, S.Y., Chok, N.K., & Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46 (5): 386-392.
- 22- Robert, P., Gorena, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J., & Saenz, C. 2010. Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 45 (7): 1386-1394.
- 23- Rodriguez-Hernandez, G., Gonzalez-Garcia, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. & Abud-Archila, M. 2005. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology*, 23 (4): 955-973.
- 24- Rouissi, T., Mahmoudi, A., Tyagi, R.D., Brar, S.K., PrVost, D., & Surampalli, R.Y. Optimisation of spray drying by response surface methodology for the production of *Sinorhizobium meliloti* powder formulation by using starch industry wastewater. *Biosystems Engineering*, 114 (3): 334-343.
- 25- Rouissi, T., Mahmoudi, A., Tyagi, R.D., Brar, S.K., PrVost, D., & Surampalli, R.Y. 2007. Optimisation of spray drying by response surface methodology for the production of *Sinorhizobium meliloti* powder formulation by using starch industry wastewater. *Biosystems Engineering*, 114 (3): 334-343.
- 26- Stewart, A.J., Bozonnet, S., Mullen, W., Jenkins, G.I., Lean, M.E., & Crozier, A. 2000. Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (7): 2663-2669.
- 27- Tonon, R.V., Brabet, C., Pallet, D., Brat, P., & Hubinger, M.D. 2009. Physicochemical and morphological characterisation of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. *International Journal of Food Science & Technology*, 44 (10): 1950-1958.
- 28- Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. 2011. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 48 (6): 677-684

Optimization of spray drying of pomegranate juice using response surface methodology

Fakhri Shahidi¹, Mehdi Varidi², Mohebbat Mohebbi^{3*}, Mohammad Noshad⁴,
Mohammad Khalilian Movahed⁵

1- Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

* Corresponding author (mohebbatm@gmail.com)

4- PhD Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

5- MSc. Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Abstract

Response Surface Method was used to determine the optimum operating conditions that yield maximum total phenol, total anthocyanin, particle size and minimum moisture content, water activity and L* value in spray drying of Pomegranate. Air inlet temperature (120-170°C), feed rate (0.3-1.1 mL/s) and Pomegranate juice concentrate/maltodextrin ratio (0.6-0.8) were factors whose effects on dependent variables were evaluated during the spray-drying process. The second order polynomial models for all the response variables were found to be statistically significant. In the optimum conditions that are obtained, feed rate and Pomegranate juice concentrate/ maltodextrin ratio were 170 °C, 0.55 and 0.6, respectively. This study revealed that by applying these conditions, pomegranate juice powder with 4.3687% moisture content, 8.4655 L* value, 85.0287 total phenol, 607.836 total anthocyanin and 41.7944 (µm) particle size were produced.

Keywords: Optimization, Pomegranate, Response surface methodology, Spray drying