

بهینه سازی پارامترهای انتقال جرم در خشک کردن اسمزی ژل آلونته ورا با روش سطح پاسخ

اکرم شریفی¹، صادق ریگی^{1*}، امیر حسین الهامی راد¹، محمد آرمین²

1- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، گروه علوم و صنایع غذایی، سبزوار، ایران

2- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، گروه کشاورزی، سبزوار، ایران

تاریخ پذیرش: 1392/10/1

تاریخ دریافت: 1391/12/7

چکیده

روش سطح پاسخ، مجموعه ای از تکنیک های آماری برای طراحی آزمایشات، مدل سازی و بررسی اثر فاکتورها بر نتایج نهایی و در نهایت بهینه سازی فرآیند می باشد. این تحقیق با هدف بهینه سازی فرآیند آبگیری اسمزی ژل آلونته ورا توسط روش سطح پاسخ انجام شد. اثرات فاکتورهای متغیر دما (30-50 درجه سانتیگراد)، غلظت محلول اسمزی (30-60 درصد وزنی-وزنی) و نسبت محلول به نمونه (10:1 و 4:1) بر روی پارامترهای کاهش وزن (WR)، از دست دادن آب (WL) و جذب ماده ی جامد (SG) بررسی گردید. نتایج نشان داد که شرایط بهینه فرآیند آبگیری اسمزی ژل آلونته ورا شامل دمای محلول اسمزی 30 درجه سانتی گراد، غلظت محلول با بریکس 31 و نسبت محلول به نمونه 5/7:1 بود. در شرایط بهینه، پارامترهای کاهش وزن، از دست دادن آب و جذب ماده ی جامد به ترتیب 73/69، 78/62 و 4/93 گرم در هر 100 گرم نمونه محاسبه گردید.

واژه های کلیدی: ژل آلونته ورا، آبگیری اسمزی، کاهش وزن، از دست دادن آب، جذب ماده جامد

1- مقدمه

گیاه آلوئه ورا، متعلق به خانواده ی لیلیاسه¹ می باشد و تاکنون 360 گونه از آن در مناطق مختلفی از آسیا، آفریقا و اروپا شناسایی شده است. آلوئه ورا، گیاهی دائمی، گوشتی و آبدار با برگهای پهن تیغ دار است که حداکثر دو متر ارتفاع دارد، با جدا سازی تیغ هایی که در لبه برگها قرار دارند مایع غلیظ و ژله مانندی ترشح می شود که تمام خواص گیاه در آن نهفته است. مانند سایر سبزیجات، ژل آلوئه ورا از لحاظ ویتامین ها (A، C، E) غنی می باشد و محتوای چربی کم و میزان فیبر بالایی دارد و حضور این ترکیبات نیز عامل خصوصیات عملگرایی و سلامتی بخش مشاهده شده در این گیاه است (5).

آبگیری اسمزی، فرآیند غوطه وری مواد غذایی، عمدتاً میوه ها و سبزیجات، در یک محلول هایپرتونیک نظیر شربت شکر می باشد. آبگیری اسمزی بعنوان پیش تیمار برای بسیاری از فرآیندهای غذایی مثل انجماد، خشک کردن انجمادی، خشک کردن در خلا و یا خشک کردن با جریان هوا استفاده می شود و منجر به بهبود خصوصیات تغذیه ای، سلامتی بخشی و ارگانولپتیک محصول می گردد. علاوه بر این، این فرآیند موجب افزایش نسبت قند به اسید محصول شده و میزان پایداری رنگدانه ها در طی خشک کردن و انبارداری را افزایش می دهد. در طی خشک کردن اسمزی، دو جریان غیر همسو بصورت همزمان شکل می گیرد که شامل خروج آب از ماده غذایی و انتقال ماده جامد از محلول اسمزی به داخل ماده غذایی می باشد. سرعت و میزان خروج آب و نفوذ ماده جامد به فاکتورهای مختلفی از جمله دما و غلظت محلول اسمزی، شکل و اندازه ماده غذایی، نسبت شربت (محلول) به ماده و میزان تحرک محلول اسمزی، بستگی دارد (6,11). بنابراین با انتخاب صحیح متغیرهای فوق و دستیابی به شرایط بهینه برای مقادیر خروج آب و نفوذ ماده ی جامد، می توان کیفیت نهایی محصولات غذایی را افزایش داد.

روش سطح پاسخ (RSM)²، مجموعه ای از تکنیک های آماری برای طراحی آزمایشات، مدل سازی و بررسی اثر فاکتورها بر نتایج نهایی و در نهایت بهینه سازی فرآیند می باشد. یکی از مزیت های روش فوق، کم کردن تعداد آزمایشات مورد نیاز برای بدست آوردن داده ها جهت آنالیز آماری می باشد. این روش

بطور گسترده ای در مطالعات بهینه سازی چند متغیره در فرآیندهای مهندسی، تحقیقات صنعتی و بیولوژیکی مورد استفاده قرار می گیرد (2).

در طی سالهای اخیر، در زمینه خشک کردن اسمزی محصولات کشاورزی، مطالعات زیادی با هدف مدل سازی فرآیند خشک کردن و بررسی پارامترهای کیفی محصول انجام شده است. بهینه سازی پارامترهای آبگیری اسمزی توسط تکنیک سطح پاسخ (RSM) نیز در تحقیقات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیقی که توسط سینگ³ و همکاران (2010) روی بهینه سازی آبگیری اسمزی هویج به روش RSM صورت گرفت، فاکتورهای متغیر فرآیند شامل دمای محلول اسمزی، زمان غوطه وری و بریکس محلول اسمزی و پارامترهای وابسته مورد بررسی نیز شامل دست دادن آب، کاهش وزن، جذب ماده ی جامد، نسبت بازآپوشی، رنگ و کیفیت حسی نمونه ها بود. در نهایت شرایط بهینه فرآیند بصورت دمای 58/5 درجه سانتیگراد، غلظت 15 درصد نمک با زمان غوطه وری 120 دقیقه تعیین گردید (13). در تحقیقی مشابه، شفیق⁴ و همکاران (2010)، جهت بهینه سازی خشک کردن ترکیبی اسمزی - هوای داغ میوه به، از روش سطح پاسخ استفاده کردند. نمونه های خشک شده از نظر رنگ، افت ویتامین ث، باز آپوشی، از دست دادن آب و جذب ماده ی جامد، بررسی شدند. در این تحقیق، دمای 51 سانتیگراد، غلظت 59 درصد محلول اسمزی با زمان غوطه وری 60 دقیقه و نسبت (وزنی - وزنی) 4:1 محلول به میوه، بهترین شرایط جهت خشک کردن بود (12).

ویرا⁵ و همکاران (2012) از روش سطح پاسخ جهت بهینه سازی فرآیند آبگیری اسمزی گوواوا⁶ استفاده کردند و در نهایت شرایط بهینه بصورت دمای 32 درجه ی سانتیگراد و غلظت 60 درصد ساکارز تعیین گردید. در شرایط بهینه، پارامترهای کاهش وزن⁷ (WR)، از دست دادن آب⁸ (WL) و جذب ماده ی جامد⁹ (SG) نمونه های خشک شده به ترتیب 29/01، 25/91 و 3 گرم در هر 100 گرم محاسبه گردید (14).

3. Singh

4. Shafiq

5. Viera

6. Guvava

7. Weight reduction

8. Water loss

9. Solid gain

1. Liliaceae

2. Response Surface Methodology

تکرار در نقاط مرکزی بود. مقادیر کد شده و واقعی متغیرهای مستقل مورد استفاده در جدول 1 نشان داده شده است. آنالیز داده ها از نرم افزار 7.1.5 design expert انجام شد. داده های تجربی با کمک مدل چند جمله ای درجه ی دوم زیر برازش داده شدند:

$$Y = b_0 + b_1 A + b_2 B + b_3 C + b_{11} A^2 + b_{22} B^2 + b_{33} C^2 + b_{12} AB + b_{13} AC + b_{23} BC$$

در معادله فوق، b_n نشاندهنده ی ضرایب رگرسیون، Y بیانگر پاسخ های مورد نظر شامل از دست دادن آب، جذب ماده ی جامد و کاهش وزن و مقادیر A و B و C نیز به ترتیب نشان دهنده ی فاکتورهای مستقل فرآیند شامل دما (درجه ی سانتیگراد)، غلظت محلول اسمزی (درصد وزنی - وزنی) و نسبت محلول اسمزی به ژل آلوئه ورا (وزنی - وزنی) هستند.

جدول 1- مقادیر کد شده و سطوح متغیرهای مستقل فرآیند

آبگیری اسمزی ژل آلوئه ورا

متغیرهای مستقل			کد و سطوح مربوطه
دما ($^{\circ}C$)	30	40	50
غلظت محلول اسمزی (% W/W)	30	45	60
نسبت محلول به نمونه (% W/W)	4:1	7:1	10:1

2-3- خشک کردن اسمزی

فرآیند آبگیری اسمزی در بشر 1000 میلی لیتری حاوی محلول اسمزی، انجام شد. جهت کنترل دمای محلول اسمزی، از بن ماری (LAUDA، مدل E200، ساخت آلمان) استفاده گردید. نمونه های تازه ب مدت 4 ساعت در بشر حاوی محلول اسمزی با دمای متغیر (30 تا 50 درجه سانتیگراد)، قرار داده شدند. غلظت محلول اسمزی نیز بین بریکس 30 تا 60 و نسبت وزنی شربت به نمونه بین 4:1 تا 10:1 متغیر بود. بعد از اتمام فرآیند اسمز، نمونه ها از محلول خارج و ب مدت 30 ثانیه با آب مقطر، شستشو شده و رطوبت سطحی نمونه ها توسط کاغذ صافی گرفته شد. در مرحله بعد، پارامترهای مورد بررسی شامل از دست دادن آب (WL)، جذب ماده ی جامد (SG) و کاهش وزن (WR)، با استفاده از معادلات زیر محاسبه گردید:

در تحقیقی مشابه، کومار¹ و دیوی² (2011) اثر چهار فاکتور غلظت محلول اسمزی، دمای اسمز، ضخامت اسلایس و غلظت پتاسیم متا بی سولفیت را در سه سطح بر روی آبگیری اسمزی آناناس بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت و دمای محلول اسمزی، از دست دادن آب و جذب ماده ی جامد بطور خطی افزایش پیدا کرده است. با کاربرد روش سطح پاسخ بر روی داده های حاصله، مشخص گردید که غلظت پتاسیم متا بی سولفیت و ضخامت اسلایس، کمترین اثر را بر انتقال جرم در طی اسمز داشته اند (6).

این مطالعه با هدف مدل سازی پارامترهای خشک کردن اسمزی ژل آلوئه ورا بعنوان تابعی از فاکتورهای متغیر (دمای اسمز، غلظت محلول اسمزی و نسبت وزنی - وزنی محلول به نمونه) و نیز یافتن شرایط بهینه برای حداکثر از دست دادن آب، و کاهش وزن و حداقل جذب ماده ی جامد انجام گرفت.

2- مواد و روش ها

2-1- آماده سازی نمونه ها

برگهای تازه آلوئه ورا (گونه باربادنسیس میلر³)، از شهرستان اراک تهیه گردید. برگها بر اساس تازگی، رسیدگی و شکل یکسان انتخاب شدند. صبر زرد با برش قسمت انتهایی برگها و قرار دادن برگ بصورت عمودی ب مدت یک ساعت استخراج گردید و سپس بافت اپیدرم (پوسته سبز رنگ) از ژل جدا و سپس ژل بوسیله چاقوی تیز، به شکل اسلایس های $4 \times 1 \text{ cm}^2$ برش داده شد. اندازه گیری رطوبت و محتوای ماده جامد نمونه های تازه و اسمزی شده طبق استاندارد AOAC شماره 934/06 انجام گرفت (1).

2-2- طرح آزمایشی و آنالیز آماری

جهت برآورد و بررسی اثرات آبگیری اسمزی بر پارامترهای از دست دادن آب، کاهش وزن و جذب ماده ی جامد ژل آلوئه ورا، از روش سطح پاسخ استفاده شد. طرح Box-Behnken شامل فاکتورهای متغیر دما (30-50 درجه سانتیگراد)، غلظت محلول اسمزی (30-60 درصد وزنی - وزنی) و نسبت شربت به نمونه (10:1 - 4:1 درصد وزنی - وزنی) با تعداد 17 تیمار و 5

¹. Kumar

². Deivi

³. Barbadensis miller

3-2- کاهش آب

جدول تجزیه واریانس نشان داد که به ترتیب جملات درجه دوم (C^2) و خطی نسبت محلول به نمونه (C) بیشترین تاثیر منفی و جمله ی خطی غلظت محلول اسمزی (B) بیشترین تاثیر مثبت را بر روی میزان کاهش آب داشته اند. جمله ی درجه ی دوم غلظت محلول اسمزی (B^2) نیز تاثیر منفی بر کاهش آب داشت. این امر نشان می دهد که با افزایش نسبت محلول به نمونه و یا افزایش بیش از حد غلظت محلول اسمزی، مقدار از دست دادن آب کاهش می یابد که این مشاهدات براحتی از شکل 1، قابل استنباط است. در واقع می توان گفت در محلول های غلیظ با ویسکوزیته بالا، مقاومت در برابر انتقال جرم مانع خروج رطوبت از بافت ژل گردیده است. نتایج مشابهی توسط رحمان و همکاران در مورد آناناس مشاهده گردیده است (10).

$$Y_1 = +81.98 - 1.01 A + 3.71 B - 10.42 C - 0.54 A^2 - 1.46 B^2 - 11.51 C^2 - 0.23 AB - 2.40 AC - 0.044 BC$$

$$Y_2 = +8.16 + 0.59 A + 0.63 B - 0.60 C - 0.58 A^2 - 0.96 B^2 - 1.02 C^2 - 0.50 AB + 0.11 AC - 0.49 BC$$

$$Y_3 = +73.80 - 1.86 A + 3.08 B - 10.08 C + 0.31 A^2 - 0.75 B^2 - 10.23 C^2 + 0.7 AB - 1.99 AC + 0.44 BC$$

در معادلات فوق، Y_1 ، Y_2 و Y_3 به ترتیب بیانگر پارامترهای از دست دادن آب، جذب ماده ی جامد و کاهش وزن می باشند. با توجه به جداول تجزیه واریانس می توان دریافت که جملات خطی غلظت و نسبت محلول اسمزی به نمونه و جمله ی درجه دوم نسبت محلول به نمونه تاثیر معناداری روی کاهش آب داشته اند. در مورد کاهش وزن، جمله خطی و درجه دوم نسبت محلول به نمونه کاملا معنی دار بودند. در جذب ماده ی جامد نیز تنها جمله ی درجه دوم نسبت محلول به نمونه تاثیر معناداری در مدل برازش داده، داشت.

جدول 3- آنالیز واریانس مدل چند جمله ای درجه ی دوم - پارامتر از دست دادن آب (WL)

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	1592/94	9	176/99	12/02	0/0017*
Intercept	81/98	-	-	-	-	-
A	-1/01	8/19	1	8/19	0/56	0/48
B	3/71	110/27	1	110/27	7/49	0/0291
C	-10/42	868/44	1	868/44	58/99	0/0001
A ²	-0/54	1/21	1	1/21	0/082	0/7824
B ²	-1/46	8/98	1	8/98	0/61	0/4604
C ²	-11/51	558/03	1	558/03	37/90	0/0005
AB	-0/23	0/21	1	0/21	0/014	0/9087
AC	-2/40	23/06	1	23/06	1/57	0/2510
BC	-0/044	7/671E-003	1	7/671E-003	5/21E-004	0/9824
Residual	-	103/06	7	14/72	-	-
Lack of Fit	-	71/78	3	23/93	3/06	0/1541 ^{ns}
Pure Error	-	31/28	4	7/82	-	-
Cor Total	-	1696	16	-	-	-
R-Squared	-	0/9392	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	0/8611	-	-	-	-
PRESS	-	1197/34	-	-	-	-
C.V.	-	5/07	-	-	-	-
Std. Dev.	-	3/84	-	-	-	-

علاوه بر این جمله خطی (A) و درجه ی دوم (A^2) دمای اسمز و نیز تمام جملات اثر متقابل (A-B)، (A-C) و (B-C) تاثیر منفی روی کاهش آب داشتند، از آنجایی که در تحقیق فوق، با افزایش دمای فرآیند، جذب ماده ی جامد نیز افزایش پیدا کرد (جدول 2)، می توان گفت لایه های ماده جامد جذب شده در سطح ژل، بعنوان مانعی برای خروج آب عمل کرده اند (9).

3-3- جذب ماده جامد

با توجه به جدول تجزیه واریانس، جملات خطی غلظت محلول اسمزی (B) و دمای اسمز (A) بیشترین تاثیر مثبت بر جذب ماده ی جامد را داشتند. از نتایج فوق می توان دریافت که با افزایش دما و غلظت محلول اسمزی، جذب ماده جامد نیز افزایش پیدا کرده است.

دلیل مشاهده فوق را می توان به افزایش فشار اسمزی در اثر افزایش اختلاف غلظت داخل سلولی و محیط اسمز، افزایش سرعت نفوذ آب در بافت ژل و نیز بهبود خصوصیات انتقال جرم در سطح ژل در اثر کاهش ویسکوزیته محیط اسمز (بعلت افزایش دما) نسبت داد (9) (شکل 2). نتایج مشابهی در تحقیقات انجام شده توسط لازاریدس¹ و ماورودیس² در خشک کردن اسمزی سیب در محدوده ی دمایی 20 تا 50 درجه سانتیگراد گزارش شده است (7). در مقابل جملات درجه دوم نسبت محلول به نمونه (C^2) و غلظت محلول اسمزی (B^2)، بیشترین تاثیر منفی بر جذب ماده ی جامد را داشتند.

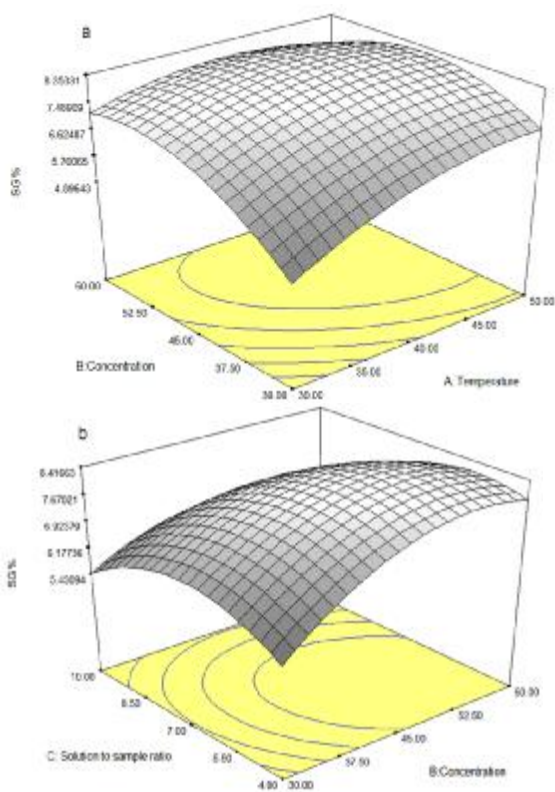
جدول 4- آنالیز واریانس مدل چند جمله ای درجه ی دوم - پارامتر جذب ماده جامد (SG)

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	21/65	9	2/41	3/09	0/0754 ^{ns}
Intercept	8/16	-	-	-	-	-
A	0/59	2/8	1	2/8	3/59	0/0999
B	0/63	3/19	1	3/19	4/11	0/0824
C	-0/60	2/91	1	2/91	3/74	0/0943
A^2	-0/58	1/42	1	1/42	1/83	0/2187
B^2	-0/96	3/9	1	3/9	5/02	0/0601
C^2	-1/02	4/37	1	4/37	5/62	0/0496
AB	-0/50	0/99	1	0/99	1/28	0/2955
AC	0/11	0/05	1	0/05	0/064	0/8072
BC	-0/49	0/95	1	0/95	1/22	0/3067
Residual	-	5/45	7	0/78	-	-
Lack of Fit	-	1/07	3	0/36	0/33	0/08083 ^{ns}
Pure Error	-	4/38	4	1/09	-	-
Cor Total	-	27/10	16	-	-	-
R-Squared	-	0/7990	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	0/5405	-	-	-	-
PRESS	-	23/94	-	-	-	-
C.V.	-	12/68	-	-	-	-
Std. Dev.	-	0/88	-	-	-	-

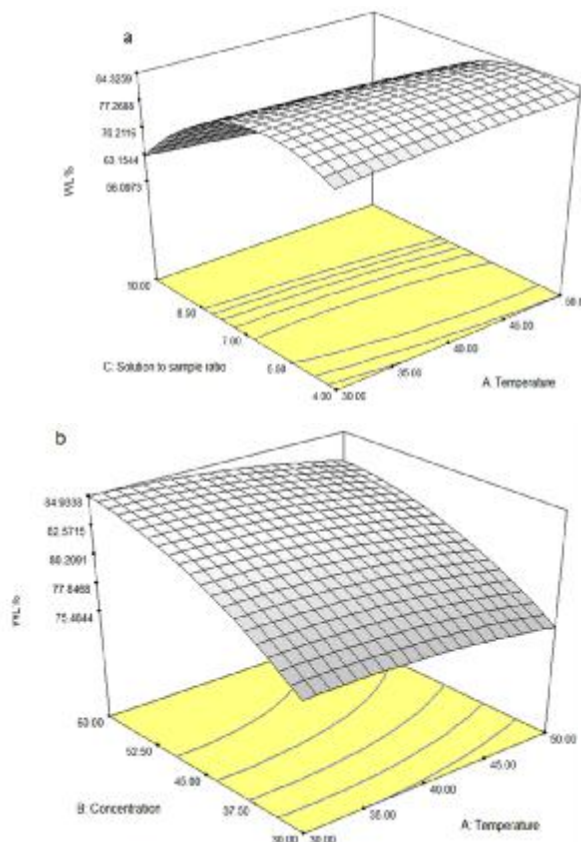
¹. Lazarides

². Mavroudis

غلظت محلول اسمزی، میزان خروج آب از بافت ژل و بدنال آن میزان کاهش وزن کاهش یافته است. جملات درجه ی دوم (A^2) ، اثر متقابل (A-B) و (B-C) نیز تاثیر مثبتی در مدل برازش داده شده داشتند. با توجه به اثرات یاد شده جملات فوق ونیز مراجعه به شکل 3 می تون دریافت که کاهش وزن ژل با افزایش غلظت محلول اسمزی در دماهای کمتر، از شدت بیشتری نسبت به دماهای بالاتر برخوردار بوده است. همچنین در تمام دماهای مورد استفاده، با افزایش نسبت محلول به نمونه تا حدود 7:1 کاهش وزن افزایش نشان داد که احتمالا علت این افزایش، تسریع در خروج آب از بافت ژل است. اما با افزایش نسبت محلول به نمونه به مقادیر بیشتر از 5:1 کاهش وزن، کاهش یافت. علت مشاهده فوق را می توان به کند شدن انتقال جرم در اثر افزایش ویسکوزیته محلول نسبت داد.



شکل 2- نمودار سطوح پاسخ جذب ماده جامد (%) در: نسبت محلول به نمونه ثابت 7:1 (a) ، در دمای ثابت 40°C (b) .

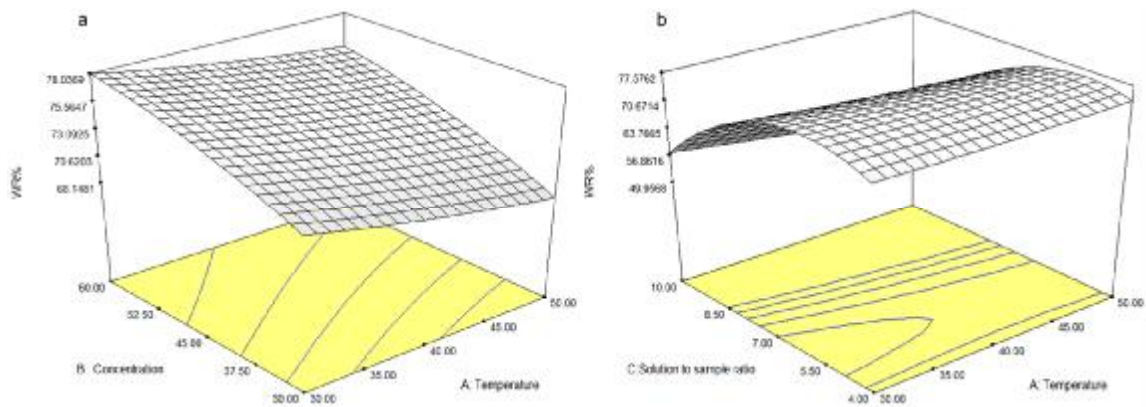


شکل 1- نمودار سطوح پاسخ کاهش آب (%) در: غلظت ثابت 50% (a) ، در نسبت محلول به نمونه ثابت 7:1 (b) .

مشابه با اثر مشاهده شده جملات درجه دوم نسبت محلول به نمونه و غلظت در مورد کاهش آب، در اینجا نیز مقاومت در برابر انتقال جرم مانع را می توان دلیل کاهش جذب ماده ی جامد توسط ژل دانست. همچنین جملات اثر متقابل (A-B) و (B-C) و جمله ی درجه دوم (A^2) تاثیر منفی روی کاهش آب داشتند. جمله ی اثر متقابل دما - نسبت (A-C) نیز تاثیر مثبتی بر جذب ماده ی جامد داشت.

3-4- کاهش وزن

مطابق جدول تجزیه واریانس، جملات درجه دوم (C^2) و خطی (C) نسبت محلول به نمونه دارای بیشینه تاثیر منفی و جمله درجه اول غلظت محلول اسمزی (B) بیشترین تاثیر مثبت بر کاهش وزن ژل آلوئه ورا طی آنگیری اسمزی داشته اند. با توجه به اثر تشریح شده جملات فوق در مورد از دست دادن آب، براحتی می توان مشاهدات فوق را توجیه نمود چرا که با افزایش بیش از حد



شکل 3- نمودار سطوح پاسخ کاهش وزن (%) در: نسبت محلول به نمونه ثابت 7:1 (a) در غلظت ثابت 45 % (b).

جدول 5 - آنالیز واریانس مدل چند جمله ای درجه ی دوم - پارامتر کاهش وزن (WR)

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	1380/67	9	153/41	9/12	0/0041*
Intercept	73/80	-	-	-	-	-
A	-1/86	27/78	1	27/78	1/65	0/2396
B	3/08	75/93	1	75/93	4/51	0/0713
C	-10/08	812/23	1	812/23	48/28	0/0002
A ²	0/31	0/41	1	0/41	0/024	0/8809
B ²	-0/75	2/38	1	2/38	0/14	0/7178
C ²	-10/23	440/38	1	440/38	26/18	0/0014
AB	0/27	0/29	1	0/29	0/017	0/8988
AC	-1/99	15/87	1	15/87	0/94	0/3638
BC	0/44	0/78	1	0/78	0/047	0/8353
Residual	-	117/77	7	16/82	-	-
Lack of Fit	-	62/73	3	20/91	1/52	0/3388 ^{ns}
Pure Error	-	55/04	4	13/76	-	-
Cor Total	-	1498/44	16	-	-	-
R-Squared	-	0/9214	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	0/8204	-	-	-	-
PRESS	-	1089/65	-	-	-	-
C.V.	-	5/96	-	-	-	-
Std. Dev.	-	4/1	-	-	-	-

تحقیق، قابلیت تولید محصولی با پذیرش حسی و اثرات سلامتی بخشی بالا را فراهم می کند. در مجموع مدل برازش داده شده قابلیت بالایی را در جهت پیش بینی میزان کاهش وزن، از دست دادن آب و جذب ماده ی جامد نشان داد. بنابراین داده های حاصل از مدل فوق می تواند جهت استفاده در فرآیند خشک کردن اسمزی ژل آلوئه ورا در مقیاس صنعتی مفید باشد.

5- منابع

1. Analysis, 15th ed. Association of official Analytical chemists, Washington, DC, USA.
2. Chang, Y.C., Lee, C.L. and Pan, T.M. 2006. Statistical optimization of mediacomponents for the production of *Antrodia cinnamomea* AC06233 in submerged cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol 72 :654-661.
3. Eshun, K., He, Q., 2004. Aloe vera: A valuable ingredient for the food. *Pharmaceutical and cosmetic industries- a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44 (2), 91-96.
4. Ferrari, C.C., Arballo, J.R., Mascheroni, R.H. and Hubinger, M.D. 2011. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 436-443.
5. Galvez, A., Uribe, E., Perez, M., Munizaga, G., Vergara, J., Segovia, P.G., Lara, E., Di Scala, K. 2011. Effect of high hydrostatic pressure on drying kinetic, antioxidant activity, firmness and microstructure of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *LWT - Food science and Technology*, 44: 384-391.
6. Kumar, Pand Devi, P. 2011. Optimization of some process variables in mass transfer kinetics of osmotic dehydration of pineapple slices. *International Food Research Journal*, 18: 221-238.
7. Lazarides, H.N., Mavroudis, N. 1995 Freeze/thaw effect on mass transfer rates during osmotic dehydration. *J Food Sci*, 60:826-829.
8. Madamba, P. & Lopez, R.I. 2002. Optimization of the osmotic dehydration of mango (*Mangifera indica* L.) slices. *Drying Technology*, 20, 1227-1242.
9. Madamba, P. 2003. Thin layer drying models for osmotically predicted young coconut. *Drying Technology* (vol 21) : 1759-1780.
10. Rahman, M. S. and Lamb, J. 1990. Osmotic dehydration of pineapple. *Journal of Food Science and Technology*, 27: 150-152.
11. Raoult-Wack, A. L. 1994. Advances in osmotic dehydration. *Trends in Food Science Technology*, (vol 5): 255-260
12. Shafiq, A.M., Amarjit, S., Sawhney, B. K. 2010. Response surface optimization of osmotic

مشاهده فوق با نتایج حاصل از از تحقیقات فراری¹ و همکاران در مورد خربزه (4) و نیز تحقیق انجام شده توسط مادامبا² و لوپز³ در مورد انبه (8) کاملاً همخوانی دارد. علاوه بر این جملات خطی دما (A)، جمله ی درجه ی دوم غلظت محلول اسمزی (B²) و نیز جمله ی اثر متقابل (A-C)، تاثیر منفی بر کاهش وزن داشتند.

3-5- بهینه سازی فرآیند

برای آنگیری اسمزی ژل آلوئه ورا، دستیابی به حداکثر از دست دادن آب و کاهش وزن و نیز حداقل جذب ماده ی جامد به عنوان اهداف مورد نظر آزمایشات در تجزیه و تحلیل های آماری مورد نظر قرار گرفت و بدین منظور شرایط بهینه فرآیند با استفاده از روش سطح پاسخ تعیین گردید. مقادیر بهینه برای متغیرهای مستقل شامل دمای محلول اسمزی 30 درجه سانتی گراد، غلظت محلول با بریکس 31 و نسبت محلول به ژل 1 : 5/7 بود. در شرایط بهینه مقادیر پاسخ های کاهش وزن (WR)، از دست دادن آب (WL) و جذب ماده ی جامد (SG) به ترتیب 73/69، 78/62 و 4/93 گرم در هر 100 گرم نمونه می باشد. مطلوبیت بدست آمده در شرایط بهینه برای متغیرها و پاسخ های مورد آنالیز، 1867/ می باشد.

4- نتیجه گیری

تعیین شرایط بهینه در طی خشک کردن محصولات کشاورزی، با توجه به کم شدن زمان فرآیند و میزان اثر تخریبی فرآیند بر محصول نهایی، می تواند از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در این تحقیق تاثیر دما، غلظت محلول اسمزی و نسبت وزنی- وزنی محلول اسمزی به نمونه طی آنگیری اسمزی ژل آلوئه ورا مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت شرایط بهینه تعیین شد. جهت پیش بینی رفتار نمونه ها، مدل چند جمله ای درجه ی دوم استفاده گردید. نتایج بهینه سازی فرآیند اسمز نشان داد که تحت شرایط : دمای محلول اسمزی 30 درجه سانتی گراد، غلظت محلول با بریکس 31 و نسبت محلول به ژل 1 : 5/7، می توان میزان کاهش وزن، از دست دادن آب و جذب ماده ی جامد به ترتیب 74/35، 78/62 و 4/93 گرم در هر 100 گرم نمونه را بدست آورد. میزان کم جذب ماده جامد پیش بینی شده در این

¹ . Ferrari

² . Madamba

³ . Lopez

14. Vieira, S., Pereira, Leila, M and Hubinger, M. 2012. Optimisation of osmotic dehydration process of guavas by response surface methodology and desirability function. *International Journal of Food Science and Technology*, 47: 132–140.

dehydration process for aonla slices. *J Food Sci Technol*, 47(1):47–54.

13. Singh, B., Panesar, P.S., Nanda, V., Kennedy, J.F.S. 2010. Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. *Food Chemistry*, 123 :590–600.