

بررسی تأثیر اولتراسوند بر آبگیری اسمزی شلغم و تعیین شرایط بهینه خشک کردن هوای داغ

فخری شهیدی^{۱*}، محمد مالکی آیسک^۲

۱- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۴)

چکیده

در این پژوهش اثر اولتراسوند بر آبگیری اسمزی شلغم مورد بررسی قرار گرفت و سپس شرایط خشک کردن آن در هوای داغ با روش سطح پاسخ بهینه سازی شد. برش های شلغم تحت تیمار اولیه اولتراسوند به مدت زمان صفر تا ۲۰ دقیقه قرار گرفتند، سپس در محلول ساکارز با بریکس های ۴۰ تا ۶۰ درصد (w/w) و مدت زمان ۶۰ تا ۱۸۰ دقیقه بر اساس طرح اولیه روش سطح پاسخ اسمز شدند، شدت آب زدایی، جذب مواد جامد و کاهش وزن تعیین گردید. تمام مدل های رگرسیونی برازش شده برای پاسخ ها از نظر آماری در سطح ۹۹٪ اطمینان معنی دار بودند. جهت رسیدن به شرایط بیشترین شدت آب زدایی، کمترین جذب مواد جامد و کاهش وزن، نقطه ی بهینه ی فرایند محاسبه شد، شرایط این نقطه شامل غلظت ۶۰٪ ساکارز، زمان اسمز ۱۳۶ دقیقه و زمان اولتراسوند صفر بود. پس از به دست آوردن شرایط بهینه مرحله ی آبگیری اسمزی، برای مرحله خشک کردن با استفاده از هوای داغ، از نمونه هایی که ابتدا طبق شرایط بهینه مرحله ی آبگیری به دست آمدند، استفاده شد. سپس در خشک کن هوای داغ با دماهای °C ۶۰ تا ۸۰ و زمان های ۱۸۰ تا ۳۰۰ دقیقه بر اساس طرح روش سطح پاسخ خشک شدند. شرایط بهینه خشک کردن هوای داغ بر اساس حداقل رطوبت، چروکیدگی و اندازه و حداکثر مؤلفه رنگ L^* و آبگیری مجدد، مدت زمان ۴/۵ ساعت و دمای °C ۷۸ تعیین شد.

کلید واژگان: اسمز، اولتراسوند، خشک کردن هوای داغ، شلغم

*مسئول مکاتبات: fshahidi@um.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه مصرف غذاهای گیاهی تازه و حداقل فرآوری شده افزایش یافته است و انتظار می‌رود در آینده مصرف این گروه غذاها به خصوص در کشورهای توسعه یافته بیشتر شود و جزء جدایی ناپذیر وعده‌های غذایی باشد [۱]. فناوری‌های پیش رو در تولید مواد غذایی، در حال حاضر بیشترین توجه را بر حداقل سازی فرایند مواد غذایی دارند، که منجر به تولید فرآورده‌هایی با خواص ارزشمند تغذیه‌ای و ویژگی‌های حسی طبیعی می‌گردد [۲].

شلغم (turnip) با نام علمی (*Brassica rapa*) از خانواده *Brassicaceae* یک محصول کشاورزی است که در اکثر نقاط قابل کشت می‌باشد. ریشه و برگ این سبزی دارای ارزش تغذیه‌ای و ویژگی‌های سلامتی بخش می‌باشند. شلغم منبع غنی از ویتامین‌های A، C، E، B6، B9، مس، کلسیم و فیبر خوراکی است [۳].

هدف اصلی از خشک‌کردن، افزایش زمان ماندگاری محصول بر اساس کاهش میزان رطوبت، کاهش فعالیت آب، کاهش فعالیت آنزیمی، جلوگیری از رشد میکروب‌ها و کاهش فعالیت‌های شیمیایی نامطلوب است؛ در اکثر موارد خشک کردن باعث بهبود ویژگی‌های ارگانولپتیکی محصول می‌گردد [۴].

آبگیری اسمزی از میوه‌ها و سبزی‌ها با غوطه‌وری آن در محلولی که دارای a_w کمتر از ماده غذایی است، به عنوان یک پیش- تیمار برای خشک‌کردن با هوای داغ مورد توجه قرار گرفته است. آبگیری اسمزی یک فرایند اولیه برای فرایندهای انجماد، خشک‌کردن انجمادی، خشک‌کردن تحت خلأ و خشک‌کردن با هوای داغ است [۵-۷]. فرایند اسمز به طور هم‌زمان باعث خروج آب از محصول و نفوذ مواد جامد به بافت آن می‌شود که منجر به کاهش ۳۰ تا ۷۰ درصد آب اولیه محصول می‌گردد [۸]. آبگیری اسمزی باعث کاهش از دست رفتن آروما، کاهش قهوه‌ای شدن آنزیمی و افزایش پذیرش کلی و حفظ مواد مغذی می‌گردد. اسمز

می‌تواند ارزش تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزی‌ها را به دلیل اشباع شدن ویتامین‌ها و مواد معدنی در ساختار متخلخل افزایش دهد. اولتراسوند شامل فرو بردن میوه به داخل آب یا یک محلول آبی هایپرتونیک، جهت اعمال امواج فراصوت است. امواج فراصوت می‌توانند به صورت دوره‌های انبساط و انقباض ظاهر شوند. این امواج با ایجاد کاویتاسیون ممکن است جهت کاهش رطوبت پیوسته، مفید باشند. اثر اسفنجی ایجاد شده توسط این امواج به دلیل ایجاد کانال‌های میکروسکوپی و جریان‌های مؤثر در مواد متخلخل مانند میوه‌ها می‌باشد که باعث کاهش نفوذ لایه‌ی مرزی و افزایش انتقال جرم همرفتی در میوه یا سبزی می‌گردد [۹-۱۱]. در منابع، بیان شده است که اولتراسوند باعث افزایش سرعت خروج آب و جذب مواد جامد در فرایند اسمز می‌شود [۱۴-۱۲].

خشک کردن مواد غذایی فرایندی است که در آن انتقال هم‌زمان حرارت و جرم باعث حذف رطوبت می‌شود. حرارتی که در اطراف ماده غذایی وجود دارد پس از انتقال به ماده غذایی موجب تبخیر رطوبت سطحی شده، همچنین رطوبت داخل ماده غذایی می‌تواند به سطح جسم بیاید و سپس تبخیر شود، و یا اینکه در درون محصول، در حالتی بین بخار-مایع تبخیر گردیده و به صورت بخار به سطح محصول متصل گردد. خشک‌کردن با هوای داغ یا تحت خلأ، بعد از آبگیری اسمزی سبزی‌ها و میوه‌ها با رطوبت متوسط برای کاهش حداکثری رطوبت لازم است. خشک‌کردن به روش هوای داغ، فرایندی است که در آن انتقال جرم و گرما هم‌زمان می‌باشد و از متداول‌ترین روش‌ها برای نگهداری مواد غذایی است [۱۵].

با توجه به اینکه شلغم سبزی بسیار ارزشمند، از لحاظ خواص دارویی است، و فقط در مدت زمان محدودی از سال در دسترس می‌باشد و همچنین روش‌های استفاده و پخت در حال حاضر شلغم برای بسیاری از مردم به خصوص کودکان مطلوب نمی‌باشد، هدف از این پژوهش تولید محصولی مطلوب جهت مصرف و همچنین، بررسی تأثیر اولتراسوند بر آبگیری اسمزی

تعیین شدت آب زدایی، جذب مواد جامد و کاهش وزن

شدت آب زدایی، افزایش ماده جامد جذب شده و کاهش وزن به ترتیب بر اساس روابط ۱، ۲ و ۳ تعیین گردید [۱۷].

$$WL = (M_0 - S_0) - (M - S) / M_0 \times 100$$

$$SG = S - S_0 / M_0 \times 100$$

$$WR = WL - SG$$

که در این روابط: M_0 ، وزن نمونه تازه؛ M ، وزن نمونه اسمزی شده؛ S_0 ، وزن ماده خشک نمونه تازه؛ S ، وزن ماده خشک نمونه اسمز شده می باشد.

طرح آزمایش بررسی اثر اولتراسوند و زمان آب گیری

در این پژوهش از نرم افزار Design-Expert برای طراحی و اجرای روش سطح پاسخ^۱ طرح باکس- بنکن^۲ استفاده شد. روش سطح- پاسخ برای بررسی و مدل سازی تاثیر مدت زمان اولتراسوند صفر تا ۲۰ دقیقه (A)، محلول ساکارز با بریکس های ۴۰ تا ۶۰ درصد (B) و مدت زمان ۶۰ تا ۱۸۰ دقیقه (C) بر شدت آب زدایی، جذب مواد جامد و کاهش وزن مورد استفاده قرار گرفت.

خشک کردن با هوای داغ

خشک کردن نهایی نمونه ها توسط دستگاه خشک کن هوای داغ ساخت شرکت سروش طب انجام پذیرفت. ۳۰ دقیقه قبل از هر آزمایش، دستگاه برای رسیدن به دمای مورد نظر روشن می شد. سرعت گردش هوای داخل خشک کن ۱/۵ m/s بود. نمونه- های اسمز شده، در دما و زمان معین و رسیدن به وزن ثابت بر اساس طرح آزمایش خشک گردید.

شلغم، تعیین شرایط بهینه اسمز و سپس تعیین شرایط بهینه خشک کردن محصول اسمز شده با هوای داغ می باشد.

۲- مواد و روش ها

آماده سازی نمونه

شلغم تازه و کاملاً رسیده از فروشگاه های معتبر سطح شهر مشهد (ایران) تهیه شدند و نمونه ها با آب شسته و با دست پوست گیری گردیدند. نمونه های پوست گیری شده به صورت استوانه هایی به قطر ۴ cm و ارتفاع ۰/۵ cm برش داده شدند.

تعیین رطوبت نمونه

درصد رطوبت برش های شلغم بر پایه وزن خشک با آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد بر اساس استاندارد AOAC تا رسیدن به وزن ثابت تعیین گردید [۱۶].

اولتراسوند

برش های شلغم به طور مستقیم در محفظه حمام آب اولتراسوند (Schaper Unique USC 25KHz) غوطه ور شدند و در مدت زمان صفر تا ۲۰ دقیقه تحت صوت دهی قرار گرفتند. فرکانس ۲۵ KHz و شدت میدان مورد استفاده ۵۰۰ W بود. دمای محفظه ی حمام در ۲۵ °C ثابت نگه داشته شد. رطوبت سطحی نمونه پس از خروج از آب مقطر با دستمال جاذب گرفته شد.

آب گیری اسمزی

برش های شلغم بر اساس طرح آزمایش در مدت زمان ۶۰ تا ۱۸۰ دقیقه، درون محلول ساکارز با غلظت ۴۰ تا ۶۰ درصد و نسبت وزن نمونه به محلول اسمزی ۱:۲۰ قرار گرفتند. دما در کل طول فرایند ثابت نگه داشته شد و با استفاده از دستگاه تعبیه شده سیرکولاسیون انجام پذیرفت. پس از خارج کردن نمونه از محلول اسمزی، نمونه ها جهت حذف ساکارز سطحی سه نوبت با آب مقطر شسته شد و سپس با کمک دستمال جاذب رطوبت خشک گردید.

تعیین چروکیدگی

تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول به روش جابجایی مایع (تولون) تعیین شد (رابطه ۴) [۱۸].

$$Sh = V_0 - V/V_0$$

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

تعیین آگیری مجدد

جذب آب مجدد نمونه خشک شده (W_d) به روش غوطه وری در آب مقطر در دمای $50^\circ C$ و مدت زمان ۳۰ دقیقه انجام شد. نسبت نمونه به آب مقطر ۱:۱۰ بود. پس از طی زمان لازم، نمونه از آب خارج و رطوبت سطحی آن با دستمال حوله ای گرفته و توزین گردید (W_r). قابلیت جذب آب نمونه های خشک شده از رابطه ی ۵، محاسبه شد [۱۹].

$$PR = W_r/W_d$$

در این رابطه W_d و W_r به ترتیب وزن نمونه قبل و بعد از آگیری می باشد.

تعیین مؤلفه رنگی L^*

ابتدا تصاویر با استفاده از دوربین Canon مدل Power Shot EOS 1000D و فاصله ی ۲۰ سانتی متری در اتاقک کاملاً تاریک که دارای ۸ لامپ فلورسنت با فاصله های ۲۰ و ۴۵ سانتی متر بالای نمونه و با زاویه ۴۵ درجه قرار داشت، گرفته شد. فضای رنگی تصویر با استفاده از افزونه Color Space Converter نرم افزار ImageJ نسخه ۱٫۴ از RGB به LAB تبدیل گردید. سپس میانگین مؤلفه رنگی L^* نمونه تعیین شد.

تعیین تغییرات اندازه سطح

در تصاویر تهیه شده از نمونه، پس زمینه حذف گردید و سپس سطح نمونه (A) توسط نرم افزار ImageJ تعیین شد و اختلاف آن نسبت به سطح اولیه (A_0) محاسبه گردید. درصد تغییر

اندازه برش شلغم طی خشک کردن با استفاده از رابطه ۶، تعیین شد.

طرح آزمایش بررسی اثر شرایط خشک کردن

طرح آماری سطح پاسخ از نوع مرکب مرکزی^۳ برای بررسی تأثیر دمای خشک کردن در محدوده $60^\circ C$ تا $80^\circ C$ (A) و زمان خشک-کردن ۱۸۰ تا ۳۰۰ دقیقه (B) بر میزان رطوبت، چروکیدگی، آگیری مجدد، مولفه رنگی L^* و تغییرات اندازه مورد استفاده قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از تأثیر اولتراسوند، غلظت محلول ساکارز و زمان آگیری اسمز بر شدت آب زدایی، جذب مواد جامد و کاهش وزن برش های شلغم در جدول (۱)، نشان داده شده است. پس از برازش مدل چند جمله ای درجه دوم، رابطه های بدست آمده در معرض الگوریتم حذف پسخور قرار گرفتند، جملات مدل که از نظر آماری معنی دار نبودند حذف شده و در نتیجه تعداد جملات مدل کاهش دادند که این مدل را مدل درجه دوم کاسته شده گویند.

آنالیز مدل برازش یافته

همان طور که در جدول (۲)، مشاهده می شود مدل درجه دوم کاسته شده برای شدت آب زدایی، جذب مواد جامد و کاهش وزن از نظر آماری معنی دار بوده ($P < 0.01$) است، و غیر معنی دار ($P > 0.05$) بودن عدم برازش^۴ تاییدی بر مناسب بودن مدل جهت پیش بینی اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته است. مقادیر بالای ضریب همبستگی و ضریب همبستگی اصلاح-شده برای مدل های به دست آمده، بیانگر قدرت بالای مدل در پیش بینی فرایند می باشد.

3. Central composite

4. Lack of Fit

Table 1 Central composite design and observed value of response variable

Ultrasound (min)	Osmosis time (min)	Brix (%)	Weight reduction (%)	Solid gain (%)	Water loss (%)
20	120	60	46	15	61
10	60	60	41.5	7.5	49
10	120	50	38.8	7	45.8
0	120	60	41.5	10.5	52
10	120	50	39.5	6.5	46
10	120	50	38.2	7.6	45.8
20	180	50	44	13	57
0	120	40	37.5	8.5	46
20	60	50	38	11	49
0	180	50	42.5	10.5	53
0	60	50	40	7.5	47.5
10	120	50	36.8	8	44.8
10	180	40	37.6	8.4	46
20	120	40	37	11	48
10	120	50	35.6	8.4	44
10	180	60	45	12	57
10	60	40	33	5.5	38.5

Table 2 ANOVA evaluation of linear, quadratic and interaction terms for each response variable and coefficient of reduction models

source	weight reduction			solid gain			Water loss		
	Coefficient Estimate	Mean Square	F Value	Coefficient Estimate	Mean Square	F Value	Coefficient Estimate	Mean Square	F Value
model	39.26	41.03	<0.0001	9.07	19.59	<0.0001	47.62	70.09	<0.0001
A	4.21	21.80	0.0108	6.87	57.91	<0.0001	10.95	146.91	<0.0001
B	2.08	34.45	0.0026	1.55	19.22	<0.0001	3.63	105.13	<0.0001
C	3.61	104.40	<0.0001	1.45	16.82	<0.0001	5.94	188.02	<0.0001
AC							2.62	12.25	0.008
A ²	5.33	23.75	0.0085	6.64	36.81	<0.0001	11.78	115.39	<0.0001
B ²							1.11	5.19	0.0550
C ²				0.80	2.72	0.0337	1.24	6.42	0.0367
Residual		2.40			0.46			1.07	
Lack of fit		2.37	0.5575		0.40	0.6921		1.34	0.2895
Pure error		2.47			0.5			0.73	
R ²	0.8505			0.9506			0.9808		
R ² adj	0.9282			0.9282			0.9658		
Adeq precision	3.92			7.32			2.12		

تأثیر متغیرهای مستقل بر شدت آب زدایی

میزان رطوبت قبل و بعد از تیمار اولتراسوند تغییری نکرد و ۸۹ درصد بود. با افزایش زمان اولتراسوند، غلظت محلول ساکارز و مدت زمان اسمز، شدت آب زدایی افزایش یافت (شکل ۱) که ناشی از افزایش شیب غلظت بین ماده و محلول اسمزی است (۲۰). اولتراسوند در مدت زمان ۱۰ دقیقه، باعث کاهش میزان آب

زدایی شد؛ زیرا در ابتدا، اولتراسوند باعث تخریب بافت و سلول ها می گردد که مانع از خروج رطوبت در حین اسمز می شود. اما با افزایش زمان اولتراسوند به ۲۰ دقیقه میزان آب زدایی افزایش یافت. که به نظر می رسد افزایش آب زدایی ناشی از ایجاد کانال های میکروسکوپی در ساختار شلغم باشد (۲۱،۲۲). مدل مناسبی که به درستی می تواند فرایند را پیش بینی کند به صورت کد شده در رابطه ی (۷)، ارائه شده است.

تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان کاهش وزن

با افزایش مدت زمان اولتراسوند، غلظت محلول ساکارز و مدت زمان اسمز، میزان افت وزن افزایش یافت (شکل ۳) که نشان

$$\text{SoliGain} = +9.07 + 6.87 \times A + 1.55 \times B + 1.45 \times C + 6.64 \times A^2 + 0.80 \times C^2$$

دهنده خروج بیشتر آب و جذب کمتر مواد جامد می باشد (۲۶، ۲۷). مدل برازش یافته برای پیش بینی کاهش وزن طی فرایند اسمز به صورت معادله ۹، ارایه شده است.

$$\text{Weight Reduction} = +39.26 + 4.21 \times A + 2.08 \times B + 3.61 \times C + 5.33 \times A^2$$

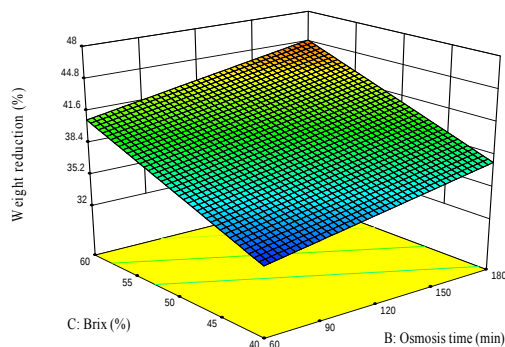


Fig 3 Response surface and contour plots for Weight reduction

بهینه‌یابی آبگیری اسمزی

هدف اصلی از بهینه‌یابی آبگیری اسمزی، به دست آوردن بیشترین شدت آب‌زدایی و کاهش وزن و کمترین جذب مواد جامد بود (۲۸). با توجه به مدل‌های برازش یافته و تأکید بر حداقل زمان اولتراسوند به جهت صرف انرژی بالا، شرایط بهینه آبگیری اسمزی شامل حذف پیش تیمار اولتراسوند، با توجه به اثربخشی کم آن در فرایند با استفاده از نرم افزار Design-Expert ver:8.0.7.1 و قسمت بهینه‌یابی، مدت زمان اسمز ۱۳۶ دقیقه در محلول اسمزی ساکارز با بریکس ۶۰٪ می باشد. سپس برای مرحله خشک کردن از این شرایط بهینه شده برای تهیه برش‌های شلغم استفاده شد.

خشک کردن هوای داغ

نتایج حاصل از تأثیر دما و زمان خشک کردن بر میزان رطوبت، چروکیدگی، آبگیری مجدد، مولفه رنگ L^* و تغییرات اندازه برگه شلغم در جدول (۳)، نشان داده شده است.

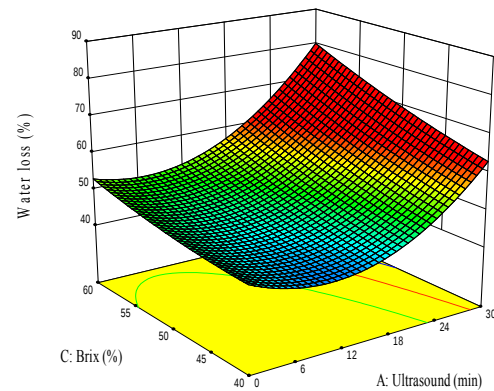


Fig 1 Response surface and contour plots for water

$$\begin{aligned} \text{Water Loss} = & +47.62 + 10.95 \times A + 3.63 \times B + 5.94 \times C \\ & + 2.63 \times A \times C + 11.78 \times A^2 + 1.11 \times B^2 \\ & + 1.24 \times C^2 \end{aligned}$$

loss

تأثیر متغیرهای مستقل بر جذب مواد جامد

با توجه به شکل (۲)، و جدول (۱)، افزایش زمان اولتراسوند، غلظت محلول ساکارز و مدت زمان اسمز، میزان جذب مواد جامد را افزایش داد. افزایش بیش از حد ساکارز باعث کاهش شدت پدیده انتقال جرم شد. ولی با افزایش متوسط غلظت محلول ساکارز، جذب مواد جامد افزایش می‌یابد که به نظر می‌رسد ناشی از تورم غشاء سلول‌ها باشد که باعث افزایش نفوذ شکر گردیده است (۲۵-۲۳). مدل مناسب به صورت کد شده به فرم معادله ۸، ارایه شده است.

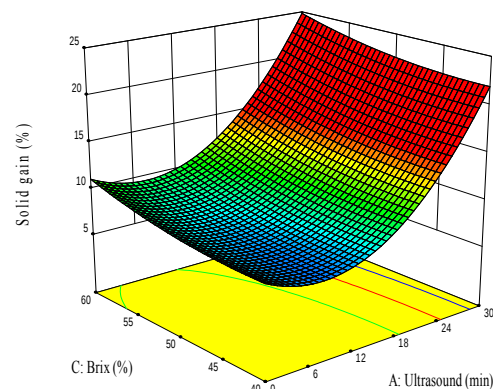


Fig 2 Response surface and contour plots for solid gain

Table 3 Central composite design and observed value of response variable

Temperature (°C)	Time (min)	Area Reduction (%)	L*	Rehydration ratio (gr/gr)	Shrinkage (cm ³ /cm ³)	Moisture content (gr/gr)
70	240	46	82.1	2.3	0.75	0.135
70	324.85	50	79.4	2.39	0.78	0.08
70	240	46.9	83.2	2.28	0.748	0.145
70	240	47.5	83.78	2.321	0.74	0.13
60	180	38	78.1	2.05	0.63	0.19
70	240	48	84.1	2.29	0.735	0.133
84.14	240	47.3	66.13	2.39	0.69	0.09
55.85	240	44.1	78.2	2.03	0.72	0.17
80	300	74.5	73.24	2.4	0.713	0.07
80	180	44.5	79.51	2.28	0.669	0.1
60	300	46.2	86.41	2.1	0.75	0.127
70	240	48.4	84.7	2.21	0.728	0.129
70	155.15	41	85.32	2.07	0.66	0.17

آزمون عدم برازش غیر معنی دار شد ($P>0.05$) که نشان می دهد، مدل انتخابی مناسب است. مقادیر بالای ضریب R^2 و R^2 adjusted در تمام متغیرها بیانگر توانایی بالای مدل در پیش بینی فرایند می باشد.

تجزیه مدل برازش یافته

با توجه به جداول ۴ و ۵، مدل درجه دوم کاسته شده برای میزان رطوبت، میزان چروکیدگی، میزان آبگیری مجدد، مولفه رنگی L^* و تغییرات اندازه دارای F معنی دار بودند ($p<0.01$).

Table 4 ANOVA evaluation of linear, quadratic and interaction terms for each response variable and coefficient of prediction models

source	Rehydration ratio			Shrinkage			Moisture content		
	Coefficient Estimate	Mean Square	F Value	Coefficient Estimate	Mean Square	F Value	Coefficient Estimate	Mean Square	F Value
model	2.24	0.092	<0.0001	0.74	4.081×10^{-3}	0.0007	0.13	7.264×10^{-3}	<0.0001
A	0.13	0.13	<0.0001				-0.033	8.477×10^{-3}	<0.0001
B	0.078	0.048	0.0032	0.042	0.014	<0.0001	-0.028	6.05×10^{-3}	<0.0001
AB				-0.019	1.43×10^{-3}	0.0385			
A ²				-0.023	3.705×10^{-3}	0.0046			
B ²				-0.016	1.688×10^{-3}	0.0280			
Residual		3.264×10^{-3}			2.210×10^{-4}			1.107×10^{-4}	
Lack of fit		4.260×10^{-3}	0.2074		4.047×10^{-4}	0.0803		1.574×10^{-4}	0.1061
Pure error		$1/77 \times 10^{-3}$			$8/320 \times 10^{-5}$			$4/08 \times 10^{-4}$	
R ²	0.8489			0.9295			0.9292		
R ² adj	0.8187			0.8592			0.9150		
Adeq precision	2.55			2.08			8.20		

Table 5 ANOVA evaluation of linear, quadratic and interaction terms for each response variable and coefficient of prediction models

source	Area Reduction			L*		
	Coefficient Estimate	Mean Square	F Value	Coefficient Estimate	Mean Square	F Value
model	47.36	23.43	0.0010	83.46	136.71	<0.0001
A	1.54	18.99	0.0082	-6.32	319.35	<0.0001
B	2.99	71.57	0.0002	-1.98	31.35	<0.0154
A ²	-1.22	10.31	0.0313	-2.90	59.43	0.0026
B ²	-1.32	12.08	0.0228			
Residual		1.43			3.52	
Lack of fit		2.15	0.2082		5.56	0.0583
Pure error		0.89			0.97	
R ²	0.9213			0.9283		
R ² adj	0.8650			0.9044		
Adeq precision	2/61			2/30		

که به علت ایجاد پدیده ی سخت شدن سطح شلغم می باشد (۳۰). مدل مناسب برازش یافته برای چروکیدگی در رابطه ی ۱۱، ارایه گردید.

$$\text{Shrinkage} = +0.74 - 5.007 \times 10^{-3} \times A + 0.042 \times B - 0.019 \times A \times B - 0.023 \times A^2 - 0.016 \times B^2$$

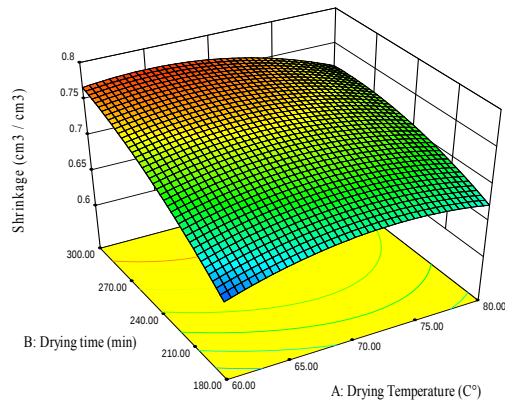


Fig 5 Response surface and contour plots for shrinkage

تأثیر متغیرهای مستقل بر آبگیری مجدد

با افزایش دما و زمان خشک کردن آبگیری مجدد افزایش می یابد (شکل ۶). با گذشت زمان، شکری که در داخل میکروکانال-ها به حالت اشباع رسیده و مانع از ورود آب می شود، خارج گردیده و این امر باعث می شود که میزان آبگیری مجدد با گذشت زمان افزایش یابد (۳۱). مدل مناسب برای پیش بینی فرایند به صورت معادله ۱۲، ارایه شده است.

$$\text{Rehydration Ratio} = +2.24 + 0.13 \times A + 0.078 \times B$$

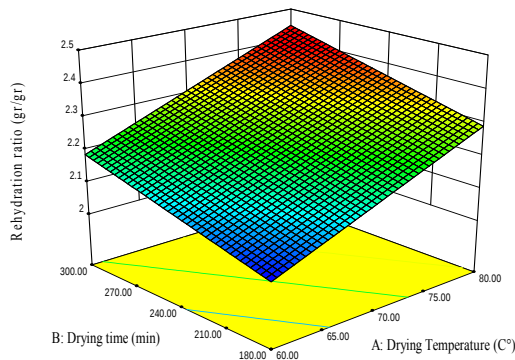


Fig 6 Response surface and contour plots for rehydration ratio

تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان رطوبت

با توجه به شکل ۴، با افزایش دما و زمان خشک کردن میزان رطوبت کاهش می یابد. تغییرات فیزیکی و شیمیایی در مرحله آبگیری اسلمی باعث تغییر در میزان رطوبت در مرحله ی خشک کردن با هوای داغ می شود (۲۵). با افزایش دما انرژی آب موجود در شلغم زیاد شده و این امر باعث می گردد خروج آن تسریع شود و در نتیجه میزان رطوبت کاهش یابد. افزایش زمان باعث می-گردد، مولکول های آب فرصت کافی برای انتقال به سطح و سپس خروج از سطح ماده غذایی را داشته باشند. مدل برازش شده و مناسبی که می تواند میزان محتوای رطوبتی را پیش بینی کند در رابطه ی ۱۰ ارایه شده است.

$$\text{Moisture Content} = +0.13 - 0.033 \times A - 0.028 \times B$$

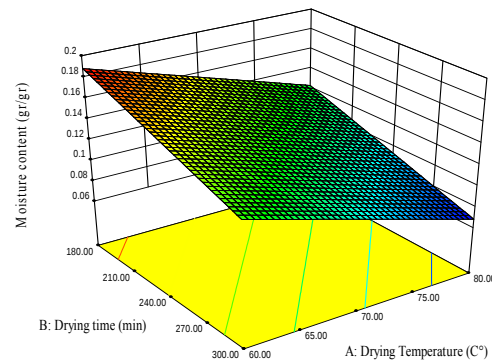


Fig 4 Response surface and contour plots for moisture content

تأثیر متغیرهای مستقل بر چروکیدگی

با افزایش دما و زمان خشک کردن میزان چروکیدگی افزایش یافت، که نشان دهنده همبستگی این تغییرات با میزان رطوبت است. کاهش آب و حرارت بالا باعث اعمال تنش به ساختار سلولی و میکروسکوپی بافت شلغم شده، در نتیجه موجب تغییر شکل و کاهش ابعاد میکروسکوپی می گردد. شکل ۵، اثر دما و زمان خشک کردن بر چروکیدگی را نشان می دهد که نشان دهنده اثر بیشتر زمان خشک کردن بر میزان چروکیدگی است (۱۸). میزان چروکیدگی در دما و زمان پایین به شدت کم می باشد. با افزایش دما در دماهای ۶۰ تا ۷۰ °C، میزان چروکیدگی افزایش یافت که به دلیل عدم سخت شدن سطح بود (۲۹). افزایش دما از ۷۰ °C به بالا باعث کاهش میزان چروکیدگی شد.

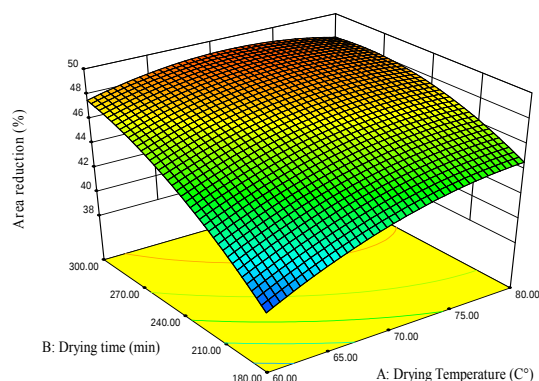


Fig 8 Response surface and contour plots for Area reduction

بهینه سازی

شرایط بهینه خشک کردن هوای داغ بر پایه حداقل رطوبت، چروکیدگی و اندازه و حداکثر مولفه رنگ L^* و آبگیری مجدد، با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت و قسمت بهینه یابی، مدت زمان ۴/۵ ساعت و دمای 78°C تعیین شد.

۴- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، از خشک کردن اسمزی همراه با پیش تیمار اولتراسوند و خشک کردن تکمیلی با خشک کن هوای داغ برای برش های شلغم استفاده شد و روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه متغیرهای فرایند خشک کردن اسمزی- هوای داغ مورد استفاده قرار گرفت. تمام مدل های رگرسیونی برازش شده برای پاسخ های حاصل از آزمایش از نظر آماری در سطح ۹۹٪ اطمینان معنی دار بودند. نتایج نشان داد که افزایش زمان اولتراسوند، بریکس محلول ساکارز و مدت زمان اسمز بر پاسخ های مرحله ی آبگیری اسمزی تاثیر معنی داری دارند و همچنین اثر دما و زمان خشک کردن بر پاسخ ها در مرحله ی خشک کردن با هوای داغ معنی دار بود. نقطه بهینه برای مرحله آبگیری اسمزی در غلظت ۶۰٪ ساکارز، زمان اسمز ۱۳۶ دقیقه و زمان اولتراسوند صفر محاسبه و تعیین گردید. شرایط بهینه برای مرحله خشک کردن با هوای داغ مدت زمان ۴/۵ ساعت و دمای 78°C بود.

تأثیر متغیرهای مستقل بر مولفه ی L^*

با افزایش دما و زمان خشک کردن مولفه ی رنگی L^* کم شد (شکل ۷). کاهش مولفه ی L^* نشان دهنده تیخیر آب و واکنش های قهوه ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی می باشد که افزایش دما و زمان باعث تسریع این واکنش ها می شود (۳۲،۳۳). همچنین تاثیر دما بر ترکیبات حساس مانند کربوهیدرات ها، پروتئین ها و ویتامین ها باعث کاهش میزان L^* گردید (۳۴). اثر افزایش دما بسیار بیشتر از افزایش زمان است (رابطه ۱۳) زیرا با افزایش دما سطح شلغم به سمت تیره شدن و سوخته شدن پیش می رود، درحالی که با افزایش زمان فقط آب بیشتری خارج می شود (۳۵). مدل برازش یافته مناسب برای مولفه ی رنگی L^* به صورت معادله ۱۳، ارایه شده است.

$$L^* = +83.46 - 6.32 \times A - 1.98 \times B - 2.90 \times A^2$$

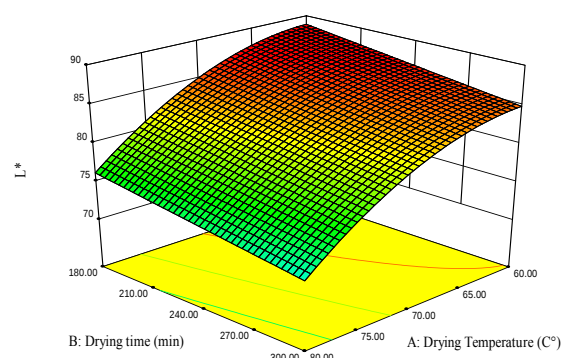


Fig 7 Response surface and contour plots for L^*

تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان تغییرات اندازه

با افزایش دما و گذشت زمان خشک کردن، مساحت سطح برش ها کاهش یافت (شکل ۸) که این ناشی از خروج آب و کاهش اندازه ی برگه ی شلغم و چروکیدگی است. بیشترین تغییرات در زمان و دماهای اولیه رخ داد و پس از آن تقریباً ثابت شد، که نشان دهنده همبستگی با میزان چروکیدگی است. مدل مناسب به صورت معادله ۱۴، ارایه گردیده است.

$$\text{Area Reduction} = +47.36 + 1.54 \times A + 2.99 \times B - 1.30 \times A \times B - 1.22 \times A^2 - 1.32 \times B^2$$

۵- منابع

- osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1575-1585.
- [12] Deng, Y., & Zhao, Y. (2008). Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1575-1585.
- [13] Oliveira, F. I., Gallão, M. I., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2011). Dehydration of Malay apple (*Syzygium malaccense* L.) using ultrasound as pre-treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 610-615.
- [14] Bellary, A. N., Sowbhagya, H., & Rastogi, N. K. (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 453-459.
- [15] Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M. M., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 271-289.
- [16] AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Method 931.04 Washington, DC: AOAC.
- [17] Koocheki, A., Azarpazhooh, E. 2010. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of plum using response surface methodology. *International Journal of Food Properties*, 13(1): 155-166.
- [18] Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., & Mortazavi, S. A. (2012). Multi-objective optimization of osmotic-ultrasonic pretreatments and hot-air drying of quince using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2098-2110.
- [19] Singh, B., Panesar, S. P., & Nanda, V. 2007, Rehydration kinetics of un-osmosed and pre-osmosed carrot cubes. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 2(1): 10-17.
- [20] Azoubel, P. M., & Murr, F. E. X. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 291-295.
- [21] Fernandes, F. A., Gallão, M. I., & Rodrigues, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), 604-610.
- [22] Fernandes, F. A., Linhares, F. E., & Rodrigues, S. (2008). Ultrasound as pre-
- [1] Rodríguez-Sevilla, M. D., Villanueva-Suárez, M. J., & Redondo-Cuenca, A. (1999). Effects of processing conditions on soluble sugars content of carrot, beetroot and turnip. *Food Chemistry*, 66(1), 81-85.
- [2] Rzaca, M., Witrowa-Rajchert, D., Tylewicz, U., & Dalla Rosa, M. (2009). Mass exchange in osmotic dehydration process of kiwi fruits. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc (Poland)*.
- [3] Moate, P., Dalley, D., Roche, J., Gow, C., & Grainger, C. (2002). Effects on milk production of increased dietary crude protein by feeding nitrogen-fertilised turnips or lupins to dairy cows in mid-lactation. *Animal Production Science*, 42(1), 1-6.
- [4] Delgado, J. M., & da Silva, M. V. (2014). Food Dehydration: Fundamentals, Modelling and Applications Transport Phenomena and Drying of Solids and Particulate Materials , Springer 69-94.
- [5] Marani, C., Agnelli, M., & Mascheroni, R. (2007). Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1122-1130.
- [6] Garcia-Noguera, J., Oliveira, F. I., Weller, C. L., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. (2014). Effect of ultrasonic and osmotic dehydration pre-treatments on the colour of freeze dried strawberries. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2222-2227.
- [7] Kowalski, S., & Mierzwa, D. (2013). Influence of osmotic pretreatment on kinetics of convective drying and quality of apples. *Drying technology*, 31(15), 1849-1855.
- [8] González-Martínez, C., Cháfer, M., Xue, K., & Chiralt, A. (2006). Effect of the osmotic pre-treatment on the convective air drying kinetics of pear var. Blanquilla. *International Journal of Food Properties*, 9(3), 541-549.
- [9] De la Fuente-Blanco, S., De Sarabia, E. R.-F., Acosta-Aparicio, V., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juárez, J. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, (44), 523-527.
- [10] Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., & Mortazavi, S. A. (2012). Kinetic modeling of rehydration in air-dried quinces pretreated with osmotic dehydration and ultrasonic. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(5), 383-392.
- [11] Deng, Y., & Zhao, Y. (2008). Effect of pulsed vacuum and ultrasound

- [29] Mujumdar, A. S. (2000). *Drying technology in agriculture and food sciences*: Science Publishers, Inc.
- [30] Zenoozian, M. S., Devahastin, S., Razavi, M., Shahidi, F., & Poreza, H. (2007). Use of artificial neural network and image analysis to predict physical properties of osmotically dehydrated pumpkin. *Drying Technology*, 26(1), 132-144.
- [31] Bakalis, S., & Karathanos, V. T. (2005). Study of rehydration of osmotically pretreated dried fruit samples. *Drying Technology*, 23(3), 533-549.
- [32] Maskan, A., Kaya, S., & Maskan, M. (2002). Effect of concentration and drying processes on color change of grape juice and leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54(1), 75-80.
- [33] Mandala, I., Anagnostaras, E., & Oikonomou, C. (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 307-316.
- [34] Bchir, B., Besbes, S., Karoui, R., Attia, H., Paquot, M., & Blecker, C. (2012). Effect of air-drying conditions on physico-chemical properties of osmotically pre-treated pomegranate seeds. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1840-1852.
- [35] de Oliveira, L. F., Corrêa, J. L. G., de Angelis Pereira, M. C., Ramos, A. d. L. S., & Vilela, M. B. (2016). Osmotic dehydration of yacon (*Smallanthus sonchifolius*): Optimization for fructan retention. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 77-87.
- treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(6), 1049-1054.
- [23] Kowalski, S. J., Łechtańska, J. M., & Szadzińska, J. (2013). Quality aspects of fruit and vegetables dried convectively with osmotic pretreatment. *Chemical and Process Engineering*, 34(1), 51-62.
- [24] Mercali, G. D., Marczak, L. D. F., Tessaro, I. C., & Noreña, C. P. Z. (2011). Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). *LWT-Food Science and Technology*, 44(1), 82-91.
- [25] Ghanem Romdhane, N., Djendoubi, N., Bonazzi, C., Kechaou, N., & Boudhrioua Mihoubi, N. Effect of Combined Air-Drying-Osmotic Dehydration on Kinetics of Techno-functional Properties, Color and Total Phenol Contents of Lemon (*Citrus limon*. v. *lunari*) Peels. *International Journal of Food Engineering*. 12(6), 515-525.
- [26] Ahmed, I., Qazi, I. M., & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, (34), 29-43.
- [27] Castro-Giráldez, M., Tylewicz, U., Fito, P., Dalla Rosa, M., & Fito, P. (2011). Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 105(4), 599-608.
- [28] Ade-Omowaye, B., Rastogi, N., Angersbach, A., & Knorr, D. (2002). Osmotic dehydration behavior of red paprika (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science*, 67(5), 1790-1796.

Studying the influence of ultrasound treatment on osmosis dehydration of turnip and optimization of hot-air drying conditions

Shahidi, F. ^{1*}, Maleki Aysak, M. ²

1. Prof., Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2. M.Sc. student of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, International Campus, Iran.

(Received: 2016/09/18 Accepted: 2016/12/14)

We studied the ultrasound effect on osmotic dehydration of turnip, and optimized the conditions of hot air drying using response level method. Turnip slices were placed under a primary treatment of ultrasound for 0, 10 and 20 minutes, then osmosis was done in a sucrose solution with 40 to 60 brix (W/W) and durations of 60 to 180 minutes based on the Response surface primary methodology. Water loss, solid gain, and weight reduction, was determined. All regression models fitted for the responses were significant at the level of 99% of confidence. We calculated the optimum point to achieve the most water loss; least solid gain, and least weight reduction. The conditions in this point included 60 % sucrose concentration, osmosis duration 136 minutes, without ultrasound treatment. After achieving the optimum conditions of dehydration, for the air drying stage, we used the samples prepared under optimum conditions determined in the dehydration stage. Then drying was done in the air-drier with temperatures between 60 to 80 °C and durations of 180 to 300 minutes, under the Response surface methodology. The optimum conditions of air drying were determined based on the least moisture content, Shrinkage, size, the most L* color element, and rehydration and duration of 4.5 hours and temperature of 78 °C.

Keywords: Osmosis, Ultrasound, Hot air drying, Turnip

* Corresponding Author E-Mail Address: fshahidi@um.ac.ir