



بهینه‌سازی پیش فرآیند ترکیبی (اسمز-فراصوت) و خشک کردن تکمیلی با هوای داغ میوه پوملو

مریم ثابت قدم<sup>۱</sup>، فاطمه پورحاجی<sup>۲</sup>، مهدی جلالی<sup>۳\*</sup>، الهام آزادفر<sup>۱</sup>

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- مدیر تحقیق و توسعه، شرکت سپیدان شیر خراسان، شهرک صنعتی فریمان، فریمان، ایران

۳- مدرس، دانشگاه جامع علمی- کاربردی، مرکز چشمه نوشان خراسان (عالیس)

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	در این مطالعه، اثر استفاده از آبیگری اسمزی، فراصوت و پوشش خوراکی به عنوان پیش تیمار قبل از فرآیند خشک کردن جهت بهبود طعم محصول، کاهش صدمات حرارتی، کاهش آب بافتی و سهولت انتقال جرم مورد بررسی قرار گرفت. روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی شرایط خشک کردن برش‌های میوه پوملو توسط اسمز-هوای داغ مورد استفاده قرار گرفت. غلظت پوشش خوراکی (۲-۰٪ وزنی/حجمی)، زمان اعمال فراصوت (۳۰-۰ دقیقه) و غلظت ساکارز (۸۰-۴۰٪ وزنی/وزنی) به عنوان متغیرهای مستقل بر میزان رطوبت، جذب مواد جامد، افت وزن و ضریب بهره‌وری میوه پوملو به عنوان متغیرهای وابسته مورد ارزیابی قرار گرفت. تمام متغیرهای فرایند به صورت خطی برای تمام پاسخ‌ها معنی‌دار بودند ( $P < 0.01$ ). مقایسه نتایج بهینه‌سازی فرایند آبیگری اسمزی پوملو پوشش یافته و بدون پوشش نشان داد که در نقطه بهینه، بیشترین مقدار پوشش کربوکسی‌متیل سلولز و زمان آبیگری اسمزی و غلظت محلول اسمزی در نمونه پوشش یافته به ترتیب ۲ درصد، ۲۱/۸۶ دقیقه و ۵۷/۷۵ درصد محاسبه شد. بیشترین مقادیر کاهش آب، افت وزن و ضریب بهره‌وری به ترتیب ۰/۰۹۱۷۲ (گرم/در ۱۰۰ گرم ماده جامد)، ۰/۰۹۱ درصد و ۱۹/۴۷۸ در نمونه پوشش یافته و بیشترین جذب مواد جامد با مقدار ۰/۰۰۸۹ (گرم/در ۱۰۰ گرم ماده جامد) در نمونه بدون پوشش گزارش شد. نتایج نشان داد استفاده از پوشش باعث کاهش جذب مواد جامد می‌گردد.
کلمات کلیدی:	
پوملو، روش اسمزی، فراصوت، خشک کردن، هوای داغ	
DOI: 10.22034/FSCT.21.148.89.	
مسئول مکاتبات: * mehdijalali62@yahoo.com	

## ۱- مقدمه

پوملو با نام علمی (*Citrus maxima*) متعلق به خانواده سدابیان و بومی آسیای جنوب‌شرقی است. پوملو بزرگترین میوه از خانواده مرکبات است. رنگ آن سبز کم‌رنگ و گاهی هم زرد با گوشت سفید است و به ندرت صورتی و قرمز است. پوست آن بسیار ضخیم و شیرین است. نوع بومی شرق آسیا حدود ۱۵-۲۵ سانتی‌متر قطر دارد و وزن آن به ۱ تا ۲ کیلوگرم می‌رسد. پوملو خواص گریپ‌فروت را دارد و سرشار از ویتامین‌های A، B، C و املاح معدنی فسفر، پتاسیم، فیبر و آنتی‌اکسیدان است. ویتامین C پوملو چند برابر پرتقال و قابلیت جایگزینی با این میوه را دارد [۱ و ۲]. پوملو تازه را نمی‌توان بیشتر از ۳ یا ۴ روز در شرایط عادی نگهداری کرد، اما در صورت پوشش‌دهی با فیلم‌های پلاستیکی در دمای صفر درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۳-۹۶ درصد، به مدت ۷ یا ۸ ماه قابل نگهداری خواهد بود [۳].

برای افزایش قابلیت نگهداری می‌توان از روش‌هایی مثل کنسرو کردن، تخمیر و خشک کردن انجمادی نام برد. از میان این روش‌ها، خشک کردن انجمادی، محصولی با بالاترین کیفیت تولید می‌کند اما یکی از گران‌قیمت‌ترین روش‌ها است. بنابراین به یک روش ساده و ارزان قیمت با سرمایه‌گذاری پایین نیاز است که بتواند قابلیت ماندگاری بسیاری از محصولات فاسد‌شدنی را افزایش داده و در دسترس تمام مصرف‌کنندگان دور از مناطق کشت هم قرار گیرد، خشک کردن اسمزی یکی از این روش‌ها است [۴]. خشک کردن اسمزی یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی است که قادر به ایجاد خواص کیفی بهتر در محصول می‌گردد. در کاربرد فرآیند اسمزی به دلیل استفاده محدود و کوتاه مدت از جریان هوای گرم برای تکمیل عملیات خشک کردن، نه تنها ویژگی‌های مطلوب محصول در حد قابل توجهی حفظ می‌گردد، بلکه میزان نیاز به انرژی حرارتی جهت حذف آب اضافی محصول شدیداً کاهش می‌یابد [۵ و ۶]. آبیگری اسمزی به عنوان پیش‌فرآیند برخی روش‌های خشک کردن

مانند خشک کردن با هوای گرم، خشک کردن در خلأ، سرخ کردن، کنسرو کردن و انجماد به کار می‌رود [۶].

در این پژوهش از تیمار فراصوت برای بهبود انتقال جرم در طی خشک کردن استفاده شده است. با استفاده از امواج فراصوت می‌توان انتقال جرم را طی خشک کردن اسمزی افزایش داد. در غلظت‌های بالای محلول امواج فراصوت عبور آب از بافت را تشدید کرده و موجب کاهش معنی‌داری در زمان خشک کردن محصول می‌شود. به طور طبیعی در بافت میوه‌ها و سبزی‌ها رطوبت توسط کشش سطحی در لوله‌های موئین نگه‌داشته می‌شود. در نتیجه، اعمال امواج فراصوت انبساط و انقباض‌های سریعی در بافت ایجاد می‌کند که این پدیده تحت عنوان اثر اسفنجی شناخته می‌شود [۷]. استفاده از امواج فراصوت سبب افزایش ضریب نفوذ رطوبت و کاهش زمان فرآیند خشک کردن می‌شود. امواج فراصوت در اثر پدیده کاویتاسیون باعث ایجاد یک سری انقباض و انبساط‌های سریع در ماده می‌شود که شبیه فشردن و رها کردن یک اسفنج می‌باشد و باعث خروج آب از ماتریکس جامد و از طرف دیگر سبب ایجاد میکروکانال‌هایی جهت سهولت انتقال جرم طی خشک کردن توسط هوای داغ می‌گردد [۵]. خشک کردن با فراصوت دارای اهمیت تجاری بالایی می‌باشد؛ در این روش، ماده غذایی آسیب کمتری می‌بیند و با درصد رطوبت کمتری خشک می‌شود [۲]. در بررسی رشادت و همکاران (۲۰۲۳) که بر فرآیند خشک کردن میوه پرتقال انجام شد، نتایج نشان داد که نقطه بهینه با بیشترین شاخص مطلوبیت در مدت زمان اعمال امواج فراصوت ۳۰ دقیقه، میزان بریکس ۴۵ محلول اسمزی، دمای هوای خشک‌کن ۷۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای خشک‌کن ۱/۰۷ متر بر ثانیه حاصل گردید [۸]. همچنین نتایج مطالعات دارائی گرمه‌خانی و مرادی (۲۰۱۸) با هدف خشک کردن ترکیبی (اسمز- هوای داغ) بر کیفیت برکه‌های سیب زرد درختی نشان داد غلظت محلول اسمزی، زمان و دمای فرآیند اسمزی تأثیر معنی‌داری در پارامترهای مقدار رطوبت، بریکس، مقدار وزن پس از فرآیند اسمز و فاکتورهای حسی محصول داشت. [۹]. در این پژوهش به بررسی تأثیر استفاده

و معادل دمای محیط (۲۵ درجه سانتی گراد) تنظیم شد. نسبت میوه به محیط اسمزی ۱ به ۱۰ انتخاب گردید. آزمایش‌ها با اعمال شرایط متحرک یعنی هم‌زدن در فاصله زمانی یک دور در ساعت انجام شد [۱۱].

مدت زمان فرآیند آبگیری اسمزی ثابت و ۱۸۰ دقیقه در نظر گرفته شد. قطعات بعد از پوشش‌دهی و تثبیت پوشش، در محیط اسمزی غوطه‌ور و در فواصل زمانی ۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه تحت پیش فرآیند فراصوت ۲۵ کیلوهرتز و ۱۸۰ دقیقه اسمزی (بدون فراصوت) قرار گرفت. قطعات میوه پوملو بعد از پایان فرآیند آبگیری از محیط اسمزی خارج و سطح آن با آب مقطر دیونیزه شستشو و بر روی کاغذ صافی (واتمن شماره ۴۲) جهت جذب شدن آب سطحی قرار گرفت، سپس نمونه‌ها توزین گردید. جهت اعمال پیش فرآیند فراصوت از حمام فراصوت (مدل LMS100، شرکت هلشر، آلمان) استفاده گردید. این دستگاه مجهز به سنسور جهت تنظیم دمای محیط اسمزی می‌باشد [۱۲].

#### ۲-۴- محاسبه پارامترها و معادلات مربوطه

میزان افت وزن (WL)، کاهش آب (WR)، جذب مواد جامد (SG) و ضریب بهره‌وری (WL/SG) برش‌های پوملو براساس توزین آن‌ها در مراحل مختلف (قبل از آبگیری اسمزی، بعد از اسمز و بعد از خشک کردن در آون) از طریق روابط زیر محاسبه گردید [۳].

(۱)

$$WL = \frac{(m_0 \times x_{w0}) - (m_t \times x_{wt})}{m_0}$$

(۲)

$$SG = \frac{(m_t \times x_{st}) - (m_0 \times x_{s0})}{m_0}$$

(۳)

$$WR = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100$$

از پوشش و پیش تیمارهای ترکیبی فرآیند آبگیری اسمزی و فراصوت در فرآیند خشک کردن پوملو توسط هوای داغ پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

در این مطالعه، پوملو (وارسته طلایی) از بازار محلی در تهران خریداری گردید. در ابتدا، پوملو تازه شستشو و توسط چاقوی تیز از جنس استیل ضد زنگ پوست‌گیری گردید. سپس، پوملوه‌ها توسط دستگاه برش‌زن خانگی (مدل MAXBLADE، شرکت نایسر دایسر، آلمان) به برش‌های حلقوی با ضخامت ۱۰ میلی‌متر، قطر داخلی ۱۵ میلی‌متر و قطر خارجی ۵۶ میلی‌متر تقسیم گردد. به دلیل یکسان‌تر بودن برش‌های پوملو، قطرهای و ضخامتهای توسط کولیس (مدل ۴۵۵۱۲، شرکت جی ال، چین) کنترل شد.

### ۲-۲- پوشش‌دهی

جهت پوشش‌دهی محصول قبل از آبگیری اسمزی از صمغ کربوکسی‌متیل سلولز سه سطح صفر، ۱٪ و ۲٪ استفاده گردید. فرآیند پوشش‌دهی در دمای اتاق انجام گردید و به مدت ۳۰ ثانیه به طول انجامید. بعد از خروج از محلول صمغ کربوکسی‌متیل سلولز، نمونه به مدت ۵ دقیقه با کاغذ صافی برای حذف ژل اضافی خشک گردید. در نهایت برای خشک شدن و تثبیت پوشش، نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در یک آون (مدل DIN EN6052IP20، شرکت Memmert، آلمان) خشک شد [۱۰].

### ۲-۳- آبگیری فراصوت-اسمز

در این پژوهش از ساکارز به عنوان محیط اسمزی استفاده گردید. غلظت ساکارز ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد انتخاب شد. غلظت محلول‌های مورد نظر با اختلاط مقادیر محاسبه شده‌ای از ساکارز (مواد جامد X٪) با آب مقطر آماده شد. دمای فرآیند آبگیری در طول فرآیند و در کلیه تیمارها ثابت

(۴)

$$Pr = \frac{WL}{SG}$$

m<sub>0</sub>: وزن اولیه برش پوملوm<sub>t</sub>: وزن برش پوملو پس از آبیگریX<sub>w0</sub>: رطوبت اولیه پوملوX<sub>wt</sub>: رطوبت نمونه بعد از آبیگریX<sub>s0</sub>: ماده خشک اولیه پوملو عبارت است از (X<sub>s0</sub> = 1 - X<sub>w0</sub>)X<sub>st</sub>: ماده خشک بعد از آبیگری عبارت است از (X<sub>st</sub> = 1 - X<sub>wt</sub>)

### ۲-۵- خشک کردن تکمیلی

بعد از به دست آوردن شرایط بهینه آبیگری اولتراسوند-اسمز پوملو، خشک کردن تکمیلی برش‌ها در شرایط بهینه انجام شد. فرآیند خشک کردن در یک خشک‌کن جابجایی هوای داغ مجهز به فن گردش هوا (مدل UNE 400 PA، شرکت Memmert، آلمان) تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. فرآیند خشک کردن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. طی خشک شدن وزن نمونه‌ها در یک ساعت اول خشک کردن در فواصل زمانی ۵ دقیقه و از ساعت دوم به بعد هر ۱۵ دقیقه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ (مدل HR 200، شرکت AND، ژاپن) اندازه‌گیری گردید. هر کدام از آزمایشات در سه تکرار انجام شد [۱۲].

### ۲-۶- طرح آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت بهینه‌سازی فرآیند آبیگری فراصوت-اسمز پوملو از تکنیک روش‌شناسی سطح پاسخ استفاده گردید. به منظور بهینه‌سازی تأثیر غلظت پوشش خوراکی، زمان اعمال فراصوت و غلظت ساکارز بر کاهش آب، جذب مواد جامد، افت وزن، ضریب بهره‌وری و محتوای رطوبت از روش سطح پاسخ استفاده گردید. به طوری که غلظت پوشش خوراکی (X1) و زمان اعمال فراصوت (X2) و غلظت (X3) به عنوان متغیرهای مستقل فرآیند انتخاب گردید در حالی که کاهش آب (Y1)، جذب مواد جامد (Y2)، افت وزن (Y3)، ضریب بهره‌وری (Y4) به عنوان پاسخ مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تجزیه تحلیل آماری از طرح باکس-بنکن شامل ۲۰ آزمایش با ۸ تکرار در نقاط مرکزی، مقادیر واقعی متغیرهای مستقل مورد استفاده در این فرآیند در جدول (۱) نشان داده شده است. جهت آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری Design Expert نسخه ۷ استفاده گردید. داده‌های تجربی با کمک یک مدل چند جمله‌ای درجه دو برازش داده شد؛ این مدل به صورت زیر می‌باشد:

رابطه (۵)

$$Y_k = \beta_{k0} + \sum_{i=1}^3 \beta_{ki} X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{kii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{kij} X_i X_j + \epsilon_k$$

در این معادله ضرایب ثابت مدل و  $X_i$  متغیرهای مستقل مورد استفاده در فرآیند بهینه‌سازی می‌باشد. ارزیابی بهترین مدل از طریق بررسی آزمون فقدان برازش تایید شد. به طوری که مدلی که آزمون فقدان برازش را غیر معنی‌دار نمود به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. با ۸ تکرار در نقطه مرکزی، تعداد کل آزمایش‌های مورد نیاز طبق فرمول،  $N=2K(K-1)+nc$  20 آزمایش بدست آمد.

**Table 1** Independent variables of Pommelo's ultrasound-osmosis dehydration process

Variables	Actual values		
	-1	0	+1
Concentration of edible coating (% w/v) (X1)	0	1	2

Ultrasound application time (minutes) (X2)	0	15	30
Sucrose concentration (% w/w) (X3)	40	60	80

مستقیم تأثیرگذار است (جدول ۲). مقادیر ضریب تعیین ( $R^2$ ) برای هر چهار پاسخ در جدول (۲) آمده است. مقادیر بزرگ ضریب تعیین تعدیل شده و نزدیک بودن آن به ضریب تعیین، اعتبار مدل پیشنهادی را تعیین می‌کند. هرچه ( $R^2$ ) به ۱ نزدیک‌تر باشد، مدل قوی‌تر است و بهتر می‌تواند پاسخ را پیش‌بینی کند. همچنین مقادیر مربوط به ضریب تعیین پیش‌بینی شده نیز حدوداً بالای ۰/۹۴ می‌باشد که نشان‌دهنده اعتبار مدل برای داده‌هایی است که در مدل منظور نشده‌اند.

به منظور تعیین معنی‌دار بودن پارامترها و در نتیجه مدل پیشنهادی برای اندازه‌گیری کاهش آب، جذب مواد جامد از جدول آنالیز واریانس استفاده می‌شود که در جدول (۲) آورده شده‌اند. مقادیر  $P$  زیر ۰/۰۵ برای هر پارامتر نشان‌دهنده معنی‌دار بودن آن در سطح اطمینان ۰/۹۵ می‌باشد. همچنین مقادیر  $P$  مربوط به عدم برآزش بزرگتر از ۰/۰۵، نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن خطای مربوط به مدل است و بنابراین قسمت عمده باقیمانده، مربوط به خطای خالص می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود برای هر پاسخ حداقل چهار متغیر به طور

Table 2 Analysis of variance for all responses

	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared
Y1	0.9927	0.9861	0.9723
Y2	0.9928	0.9863	0.9397
Y3	0.9838	0.9692	0.9351
Y4	0.9949	0.903	0.9675

به طوری که با افزایش زمان اعمال پیش تیمار فراصوت مقدار تغییرات کاهش آب، روندی نزولی ولی با کاهش غلظت ساکاروز در ابتدا کاهش و سپس روندی افزایشی را از خود نشان داد. شکل (۱)، نمودار سه بعدی و کانتور، اثر همزمان زمان آبیگری و درصد پوشش را بر کاهش آب پوملو طی آبیگری اسمزی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که افزایش درصد پوشش کربوکسی‌متیل سلولز سبب افزایش پارامتر کاهش آب گردید. همچنین در رابطه با تأثیر زمان آبیگری در روند کاهش آب، از ۰ تا ۳۰ دقیقه روند صعودی مشاهده گردید. در آبیگری اسمزی مواد قندی و اسیدی از محلول جذب شده سبب نرم شدن بافت شده و آبیگری افزایش پیدا می‌کند اما در فراصوت به دلیل ایجاد حفره‌زایی و کاویتاسیون

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تغییرات کاهش آب<sup>۲</sup>

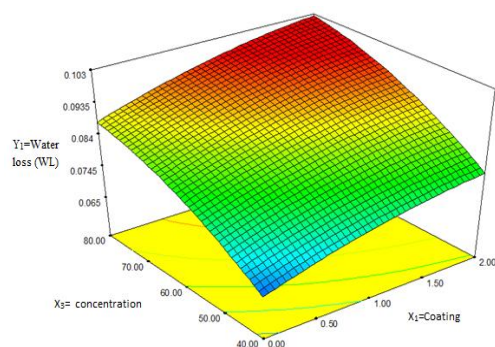
نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ مرکب مرکزی نشان داد که اثرات خطی ( $P < 0.0001$ ) و درجه دوم ( $P < 0.05$ ) تأثیر معنی‌داری بر روی کاهش آب پوملو یافته طی آبیگری اسمزی داشت. بررسی مقادیر  $F$  نشان داد که در بین اثرات خطی مدل سطح پاسخ، بیشترین تأثیر را بر روی کاهش آب پوملو پوشش یافته داشت. در بین اثرات درجه دوم و اثرات متقابل به ترتیب پارامترهای  $A^2$  و  $BC$  بیشترین تأثیر را داشته

2- Water loss

می‌شود. در نتیجه موجب خروج بیشتر آب از نمونه به درون محصول می‌شود و همچنین مقدار خروج آب در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به نمونه‌های بدون پوشش بیشتر است و استفاده از پوشش خوراکی می‌تواند باعث افزایش میزان کارایی آبیگری اسمزی شود [۱۶].

جلائی و همکاران (۲۰۱۱) آبیگری در نمونه‌های سیب انجام دادند به نتیجه رسیدند حداکثر کاهش آب در پوشش‌دهی شده با غلظت ۲ درصد پوشش و زمان آبیگری ۱۸۰ دقیقه مشاهده شد که مقدار خروج آب در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به نمونه‌های بدون پوشش بیشتر است و استفاده از پوشش خوراکی می‌تواند باعث افزایش میزان کارایی آب گیری اسمزی می‌شود [۱۷]. دهقان نیا و همکاران (۲۰۰۶) و گارسیا و همکاران (۲۰۱۰)، بررسی تأثیر پوشش کیتوزان و کربوکسی‌متیل سلولز، روی انتقال جرم میوه پاپایا و سیب در هنگام آبیگری اسمزی نشان دادند که مقدار خروج آب در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به نمونه‌های بدون پوشش بیشتر است و استفاده از پوشش خوراکی می‌تواند باعث افزایش میزان کارایی آبیگری اسمزی شود [۱۸ و ۱۹]. معادله پیش‌گویی زیر برای مقدار کاهش آب برآزش داده‌ها به دست آمد.

$$Y_1 = +0.089 + 1.874 A + 5.006 B + 0.012 C + 0.010 AB - 0.003 AC + 4.656 BC + 2.321 A^2 - 0.010 B^2 - 5.351 C^2 \quad (6)$$



بافت متخلخل شده و سبب افزایش ضریب نفوذ آب می‌گردد و با افزایش زمان فراصوت میزان جذب آب افزایش می‌یابد و یا به عبارتی دفع آب کاهش پیدا می‌کند [۱۳].

اشراقی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر پیش تیمار فراصوت بر روی خشک شدن ورقه‌های کیوی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش درصد جذب آب، با افزایش زمان فراصوت را می‌توان به دلیل تأثیر زمان فراصوت روی تشکیل کانال‌های میکروسکوپی بیشتر و در نتیجه اختلاف فشار اسمزی بین نمونه و آب مقطر دانست، که منجر به جذب آب و کاهش مواد جامد می‌شود [۱۳]، این نتایج با مشاهدات فرناندز و همکاران (۲۰۰۸) طی بررسی تأثیر پیش تیمار فراصوت روی ساختار سلولی طالبی پرداختند، مطابقت دارد. این محققین با مطالعه بر روی تغییرات ساختار سلولی به این نتیجه رسیدند که در پیش تیمار اسمزی میوه آب از دست می‌دهد و در پیش تیمار فراصوت میوه آب جذب می‌کند [۱۴]. تایو و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر فراصوت را بر روی توت فرنگی‌های تحت اسمز قرار گرفته امتحان کردند که نتیجه بیانگر این بود که فراصوت باعث بهبود انتقال جرم گردید [۱۵].

شکل (۱)، همچنین اثر افزایش غلظت محلول اسمزی و پوشش را بر تغییرات کاهش آب پوملو طی آبیگری اسمزی نشان می‌دهد، بر این اساس افزایش غلظت و پوشش باعث کاهش آب گردید. افزایش غلظت محلول که باعث افزایش فشار اسمزی در خارج نمونه‌ها و ایجاد تورم در غشا سلولی

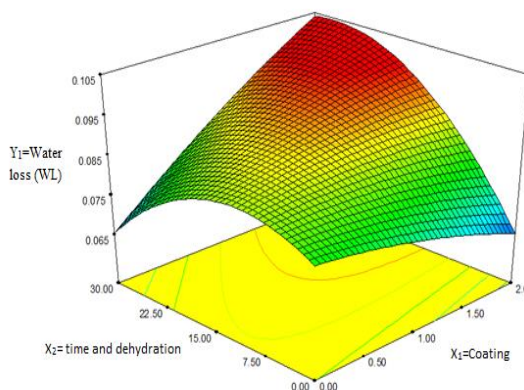


Fig 1 Response surface diagrams for water loss and the influence of independent variables

## ۳-۲- تغییرات جذب مواد جامد

نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ مرکب مرکزی نشان داد که اثرات خطی ( $P < 0.0001$ ) و درجه دوم ( $P < 0.05$ ) تأثیر معنی داری بر روی جذب مواد جامد میوه پوملو داشت (جدول ۳). در بین اثرات درجه دوم و اثرات متقابل به ترتیب پارامترهای  $B^2$  و  $AC$  بیشترین تأثیر را داشته به طوری که به ترتیب با افزایش غلظت پوشش خوراکی و کاهش غلظت ساکاروز میزان تغییرات جذب مواد جامد بصورت خطی روندی نزولی را نشان داد. شکل (۲)، نمودار سه بعدی و کانتور، اثر هم‌زمان زمان آبیگری و پوشش را بر جذب مواد جامد پوملو طی آبیگری اسمزی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد افزایش زمان آبیگری از ۰ تا ۳۰ (دقیقه)، سبب افزایش پارامتر جذب مواد جامد گردید. همچنین نتایج نشان داد افزایش کربوکسی‌متیل سلولز از ۰ تا ۲ درصد وزنی/حجمی، سبب کاهش پارامتر جذب مواد جامد گردید.

اشراقی و همکاران (۲۰۱۴) طی بررسی اثر پیش تیمار فراصوت بر روی خشک شدن ورقه‌های کیوی نیز به این نتیجه رسیدند که، کاهش مواد جامد، با افزایش زمان فراصوت را می‌توان به دلیل تأثیر زمان فراصوت روی تشکیل کانال‌های میکروسکوپی بیشتر و در نتیجه اختلاف فشار اسمزی دانست، که منجر به جذب آب و کاهش مواد جامد می‌شود [۱۳]، این نتیجه با نتایج فرناندز و همکاران (۲۰۰۸)

در بررسی تأثیر پیش تیمار فراصوت روی ساختار سلولی طالبی، مطابقت دارد [۱۴]. شوکلا و سینگ (۲۰۰۷) خشک کردن اسمزی گل کلم، قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید و نخودسبز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در ۴ ساعت اولیه میزان اتلاف آب و جذب مواد جامد در تمام نمونه‌ها افزایش و سپس تا رسیدن به حد تعادل به تدریج کاهش یافت [۲۰]. همچنین راثول واک (۱۹۹۴) گزارش کرد که معمولاً در اغلب شرایط خشک کردن اسمزی، بیشترین میزان انتقال جرم در جهت اتلاف آب در ۲ ساعت اولیه و جذب مواد جامد در ۵۰ دقیقه نخست اتفاق می‌افتد [۲۱].

شکل (۲)، اثر افزایش غلظت محلول اسمزی و پوشش را بر تغییرات جذب مواد جامد پوملو طی آبیگری اسمزی نشان می‌دهد، بر این اساس افزایش غلظت سبب افزایش جذب مواد جامد و پوشش باعث کاهش جذب مواد جامد گردید. نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان‌دهنده تأثیر پوشش خوراکی بر افزایش مقدار اتلاف آب و کاهش میزان جذب مواد جامد است را گزارش نموده‌اند [۲۲]. معادله پیشگویی زیر برای مقدار کاهش آب برآزش داده‌ها به دست آمد.

$$Y_2 = +5.109 + 1.116 A + 1.877 B + 4.212 C - 1.584 AB + 1.298 AC - 1.873 BC - 1.483 A^2 + 3.318 B^2 + 5.070 C^2 \quad (\text{رابطه } V)$$

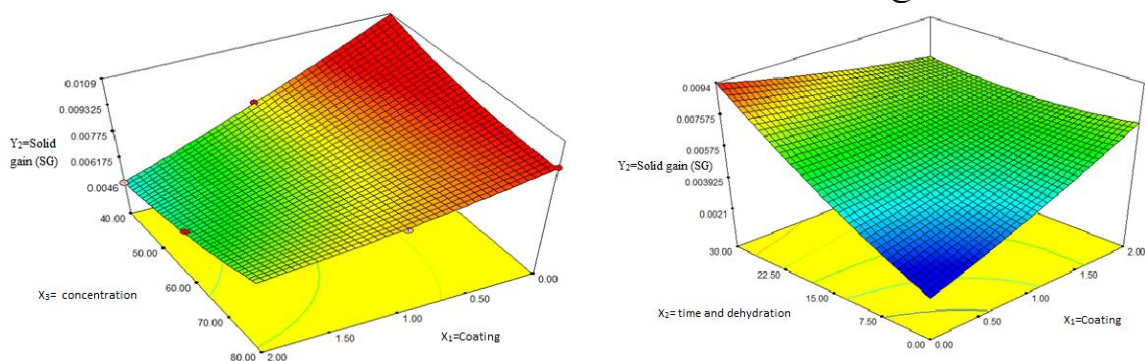


Fig 2 Response surface diagrams for adsorption of solids and the influence of independent variables

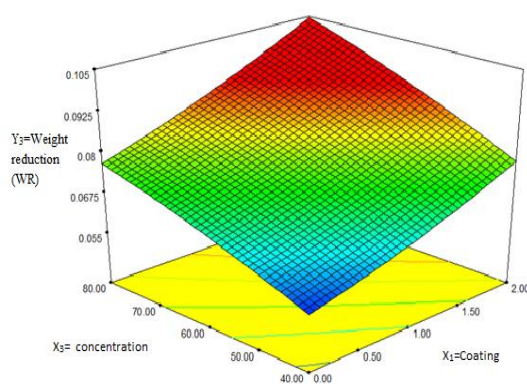
نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ مرکب مرکزی نشان داد که اثرات خطی ( $P < 0.0001$ ) و درجه دوم ( $P < 0.05$ ) تأثیر معنی داری بر روی شاخص افت وزن میوه پوملو داشت

## ۳-۳- تغییرات افت وزن

با امواج فراصوت بطور معنی‌داری با نمونه شاهد دارای اختلاف است و به نظر می‌رسد با افزایش زمان اعمال فراصوت کاهش وزن طی خشک کردن بیشتر می‌شود. اما در این تحقیق احتمالاً به دلیل استفاده از امواج فراصوت به صورت جداگانه بدون ترکیب با آبیگری اسمزی سبب جذب آب می‌شود و نمونه آب بیشتری جذب می‌کند تا از دست دهد به همین دلیل افت وزن کاهش پیدا می‌کند [۵].

شکل (۳)، اثر افزایش غلظت محلول اسمزی و پوشش را بر تغییرات افت وزن پوملو طی آبیگری اسمزی را نشان می‌دهد، براین اساس افزایش غلظت و پوشش باعث کاهش آب گردید. آبیگری اسمزی باعث کاهش وزن پوملو می‌گردد. آبیگری پوملو در بالاترین غلظت بیشترین کاهش وزن را داشته است. نتایج نشان می‌دهد که آبیگری در آغاز این فرآیند شدیدتر بوده است. نرخ کاهش وزن در ساعت اولیه بیشترین مقدار بوده که دلیل آن وجود نیرو محرکه بیشتر در شروع آبیگری اسمزی است. منظور از نیرو محرکه تفاوت بیشتر در فشار اسمزی بین محلول‌های هیپرتونیک اطراف و بافت گیاه است [۲۵]. معادله پیش‌گویی زیر برای مقدار افت وزن برازش داده‌ها به دست آمد.

$$Y_3 = +0.079 + 7.291 A + 2.176 B + 0.011 C + 0.013 AB + 1.915 AC + 3.426 BC + 2.201 A^2 - 0.012 B^2 - 1.084 C^2 \quad (8)$$



(جدول ۴). در بین اثرات درجه دوم ضریب  $A^2$  و در اثرات متقابل ضرایب  $AC$  و  $BC$  بیشترین تأثیر را از خود نشان دادند به طوری که در اثر متقابل  $BC$  با افزایش مقادیر متغیرهای مستقل زمان اعمال پیش تیمار فراصوت و غلظت ساکاروز میزان افت وزن بصورت خطی روندی صعودی را حاصل کرد. شکل (۳)، نمودار سه بعدی و کانتور، اثر هم-زمان زمان آبیگری و پوشش را بر افت وزن پوملو طی آبیگری اسمزی نشان می‌دهد که می‌توان نتیجه گرفت با افزایش زمان آبیگری از ۰ تا ۳۰ دقیقه، سبب افزایش پارامتر افت وزن گردید. همچنین نتایج نشان داد با افزایش کربوکسی‌متیل سلولز از ۰ تا ۲ درصد وزنی/حجمی، سبب افزایش افت وزن گردید.

رودریگز و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر آبیگری اسمزی به کمک فراصوت روی ساختار ساپوتا، نتایج این تحقیق را تایید کردند [۲۳]. صباحی (۲۰۱۳) بررسی تأثیر تیمارهای فراصوت بر فرآیند خشک کردن اسمزی کرفس به این نتیجه رسیدند که با افزایش زمان فراصوت از میزان کاهش وزن کاسته می‌شود [۲۴]. مسکوکوی و همکاران (۲۰۰۷) طی خشک کردن انگور با استفاده از محلول اسمزی و پیش تیمار قلیایی هم‌زمان با امواج فراصوت اعلام کردند که کاهش وزن انگور که ناشی از خشک شدن انگور و تبدیل شدن به کشمش طی زمان خشک کردن است در نمونه‌های تیمار شده

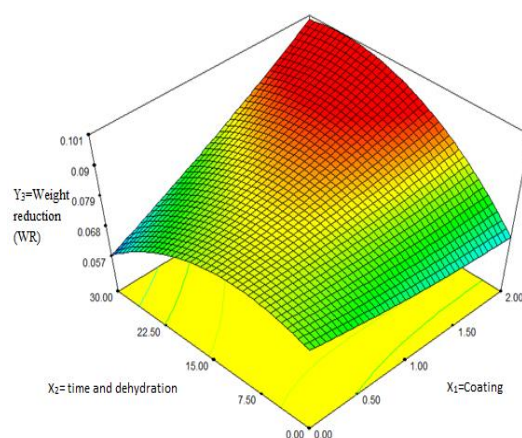


Fig 3 Response surface diagrams for weight loss and the influence of independent variables



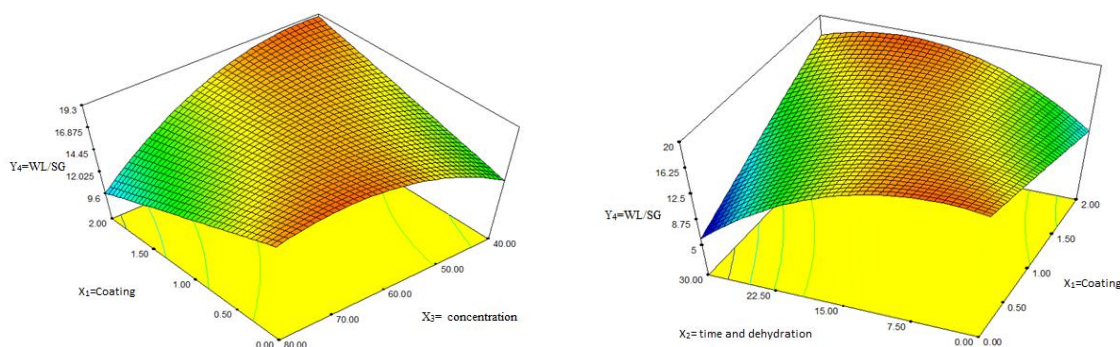
نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ مرکب مرکزی نشان داد که اثرات خطی ( $P < 0.0001$ ) و درجه دوم ( $P < 0.05$ ) تأثیر معنی داری بر روی شاخص ضریب بهره‌وری میوه پوملو طی آبیگری اسمزی داشت. بررسی مقادیر F نشان داد که در بین اثرات خطی مدل سطح پاسخ، با مقدار F بیشترین تأثیر را بر روی ضریب بهره‌وری پوملو یافته داشت. بررسی ضرایب مدل ارائه شده نشان می‌دهد که در بین اثرات درجه دوم ضریب  $A^2$  و در اثرات متقابل ضرایب AB و BC بیشترین تأثیر را از خود نشان دادند به طوری که در اثر متقابل AB تأثیر مضاعفی در مدل اعمال شد، به طوری که با افزایش مقادیر متغیرهای مستقل از جمله غلظت پوشش خوراکی و زمان اعمال پیش تیمار فراصوت، شاخص ضریب بهره‌وری در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت.

شکل (۴)، نمودار سه بعدی و کانتور، اثر همزمان زمان آبیگری و پوشش را بر ضریب بهره‌وری پوملو طی آبیگری اسمزی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد افزایش زمان آبیگری از ۰ تا ۳۰ (دقیقه)، سبب افزایش پارامتر ضریب بهره‌وری گردید. همچنین نتایج نشان داد افزایش کربوکسی‌متیل سلولز از ۰ تا ۲ درصد وزنی/حجمی، سبب افزایش ضریب بهره‌وری گردید. افزایش زمان تماس میزان بیشتری آب از نمونه خارج شده وارد محصول می‌گردد و همچنین سبب افزایش عامل اسمزی به درون بافت می‌شود. عزیزی خصال و همکاران (۲۰۱۳) آبیگری پرتقال، سراجی و همکاران (۲۰۱۲) آبیگری کدو و امام جمعه و علاءالدینی (۲۰۰۵) فرایند آبیگری بر روی کیوی، که نشان دادند افزایش نسبت WL/SG با افزایش زمان آبیگری محلول می‌باشد [۲۶، ۲۷ و ۲۸].

ضریب بهره‌وری گردید. اثر غلظت پوشش و غلظت محلول بر نسبت WL/SG در طی آبیگری اسمزی پوملو نشان داده شده است. نسبت WL/SG در نمونه‌های بدون پوشش و پوشش‌دار نشان می‌دهد در شرایط یکسان WL/SG بیشتر از نمونه‌های بدون پوشش است. نتایج تجربی نشان می‌دهد پوشش سبب کاهش جذب مواد جامد شده بدون این که تأثیر زیادی بر حذف آب در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش داشته باشد. تغییر WL/SG مربوط به نمونه‌های پوشش بستگی به قابلیت شیمیایی یا نیروی محرکه انتقال جرم آب و محلول بین نمونه و محلول اسمزی دارد. به علاوه ساختار ملکولی ماده پوشش نیز بر نسبت WL/SG تأثیر می‌گذارد. افزایش غلظت محلول اسمزی هر دو جز افزایش پیدا می‌کند به این دلیل می‌توان این گونه بیان کرد که با افزایش غلظت محلول اسمزی، فشار اسمزی و اختلاف غلظت بین برش‌های پوملو و محلول اسمزی افزایش می‌یابد. محققان اختلاف فشار اسمزی را نیروی محرکه انتقال جرم برای حذف رطوبت و اختلاف غلظت را نیروی محرکه انتقال جرم برای جذب عامل اسمزی اعلام کردند [۲۶ و ۲۸]. دهقان‌نیا و همکاران (۲۰۰۶)، از دست دادن آب، جذب مواد جامد و ضریب بهره‌وری سیب‌های پوشش داده شده و پوشش داده نشده توسط کربوکسی‌متیل سلولز را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سیب‌هایی که با کربوکسی‌متیل سلولز پوشش‌دهی شده بودند، آب بیشتری از دست دادند و مواد جامد کمتری جذب کردند. همچنین ضریب بهره‌وری بالاتری را در مقایسه با نمونه‌های پوشش‌دهی نشده داشتند [۱۸]. معادله پیش‌گویی زیر برای مقدار ضریب بهره‌وری برآزش داده‌ها به دست آمد.

$$Y4 = +17.422 + 1.115 A - 1.550 B - 0.710 C + 4.540 AB - 3.341 AC + 1.676 BC + 0.047 A^2 - 4.242 B^2 - 2.564 C^2 \quad \text{رابطه (۹)}$$

شکل (۴)، اثر افزایش غلظت محلول اسمزی و پوشش را بر تغییرات ضریب بهره‌وری پوملو طی آبیگری اسمزی نشان می‌دهد، بر این اساس افزایش غلظت و پوشش باعث افزایش



**Fig 4** Response surface diagrams for efficiency coefficient and the influence of independent variables

درصد، ۲۱/۸۶ دقیقه و ۵۷/۷۵ درصد حاصل گردید. در نهایت، مقادیر متغیرهای وابسته برای کاهش آب، جذب مواد جامد، افت وزن و ضریب بهره‌وری برای نمونه‌های پوشش یافته به ترتیب ۰/۰۹۱۷۲ (گرم/در ۱۰۰ گرم ماده جامد)، ۰/۰۰۵۰۵۵ (گرم/در ۱۰۰ گرم ماده جامد)، ۰/۰۹۱ درصد و ۱۹/۴۷۸ گزارش شد.

### ۳-۵- بهینه‌سازی فرآیند آبگیری اسمزی

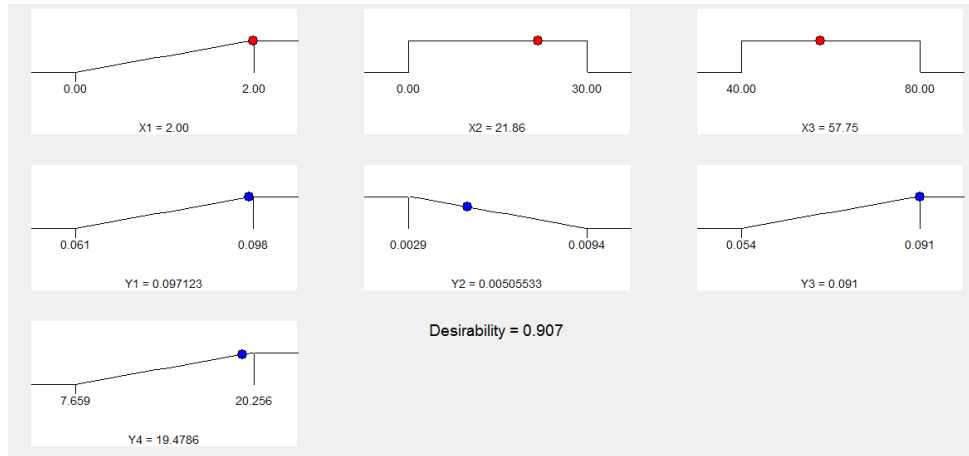
با توجه به آزمون‌ها و آنالیزهای انجام شده در پایان بایستی نقاط بهینه فرآیند آبگیری اسمزی پوملو تعیین گردد. نقطه بهینه نقطه‌ای است که در آن روند آبگیری اسمزی پوملو در شرایط ایده‌آل بوده و تقریباً تمام فاکتورهای مورد بررسی در شرایط مطلوب می‌باشد. نقاط بهینه به ترتیب برای غلظت پوشش خوراکی، زمان اعمال پیش تیمار فراصوت و غلظت محلول اسمزی (ساکاروز) در نمونه پوشش یافته به ترتیب ۲

**Table 3** Comparison of independent variables in optimal conditions (covered sample - non-covered sample)

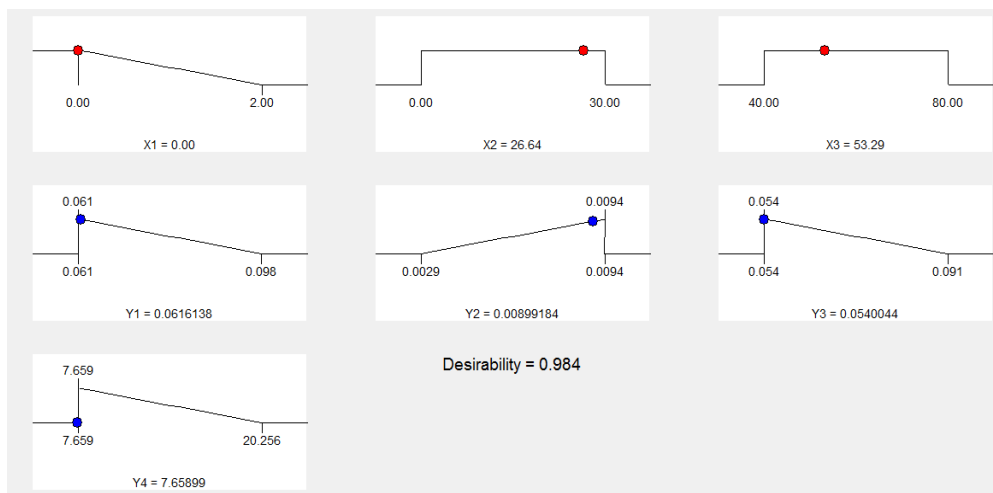
Variables	Actual values	
	Without cover	Covered
Concentration of edible coating (% w/v) (X1)	2	0
Ultrasound application time (minutes) (X2)	21.86	26.64
Sucrose concentration (% w/w) (X3)	57.75	53.29

**Table 4** Comparison of osmotic-ultrasonic dewatering of Pommelo in optimal conditions (covered-uncovered sample)

Sample type	Water reduction	Adsorption of solids	Weight loss	Efficiency coefficient
Covered	0.0917	0.0050	0.091	19.47
Without cover	0.0616138	0.00899	0.0540044	7.5999



(A)



(B)

**Fig 5** Optimizing the drying of coated (A) and uncovered (B) Pommelo by the dehydration process

روش، نسبت به حالتی که از خشک کن‌های مرسوم استفاده می‌شود (در شرایط دمایی یکسان)، مواد غذایی با درصد رطوبت کمتری خشک می‌شوند. در این تحقیق روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه متغیرهای فرآیند خشک کردن برش‌های میوه پوملو با هدف بیشینه کردن کاهش آب، افت وزن، ضریب بهره‌وری و کمینه نمودن جذب مواد جامد مورد استفاده قرار گرفت. برای نمونه های میوه پوملو بدون پوشش، نقاط بهینه برای چهار متغیر وابسته کاهش آب، جذب مواد جامد، افت وزن و ضریب بهره‌وری به ترتیب ۰/۰۶۱۶۱ (گرم/در ۱۰۰ گرم ماده جامد)، ۰/۰۸۹۹ (گرم/در ۱۰۰ گرم ماده جامد)، ۰/۰۵۴ درصد و ۷/۵۹۹ حاصل شدند.

#### ۴- نتیجه گیری

کیفیت محصول غذایی به میزان تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی که در طول فرآیند خشک کردن در آن رخ می‌دهد بستگی دارد. درجه حرارت، زمان و فعالیت آبی در حین فرآیند خشک کردن بر روی کیفیت محصول نهایی تاثیر می‌گذارد. از فرآیند آبنگیری اسمزی می‌توان به عنوان یک پیش فرآیند برای فرآیندهای بعدی مانند خشک کردن یا انجماد استفاده کرد. همچنین اعمال پیش تیمار فراصوت به عنوان یک پیش تیمار قبل از خشک کردن، علاوه بر کاهش زمان خشک شدن، دارای اهمیت تجاری بالایی است. در این

## ۵- منابع

- [1] Mozaffarian, V. 2009. A dictionary of Iranin plant, Names; Latin, English, Persian. Farhang Moaser Publishers, ISBN: 9789645545404. [In Persian].
- [2] Sun, L., Zhang, H., and Zhuang, Y. 2012. Preparation of free, soluble conjugate, and insoluble-bound phenolic compounds from peels of rambutan (*Nephelium lappaceum*) and evaluation of antioxidant activities in vitro. *Journal of Food Science*, 77(2): 198-204.
- [3] AOAC. 2005. Official methods of analysis, 18<sup>th</sup> edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- [4] Bolin, H.R., Huxsoll, C.C., Jackson, R., and Ng, K.C. 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, 48(1): 202-205.
- [5] Maskooki, A., Mortazavi, A., and Maskooki, A. 2007. Effects of combined caustic soda and ultrasound on reducing the drying time of grapes in raisin production. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 2(1): 1-10. [In Persian].
- [6] Moini, S., and Javaheri, M. 2004. An investigation on usage of osmotic method for drying kilka. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(4): 901-909. [In Persian].
- [7] Hahn, F., and Sanchez, S. 2000. Carrot volume evaluation using imaging algorithms. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75(3): 243-249.
- [8] Reshadat, R., Khoshtaghaza, M.H., and Hamidy, Z. 2023. Optimization of Orange fruit drying in hot air dryer with combined pretreatment of osmotic dehydration and ultrasonic waves. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 12(2): 115-126. [In Persian].
- [9] Daraei garmakhany, A., and Moradi, M. 2018. Response Surface Optimization of Combination Drying (Osmotic-Hot Air Drying) of Apple Fruit Slices. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 13(3): 103-114. [In Persian].
- [10] Seraji, A., Ghanbarzadeh, B., Sowti Khiabani, M., and Movahhed, S. 2012. The study of carboxymethyl cellulose-ascorbic acid based edible coating and osmotic dehydration on cucurbit drying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 8(2): 209-218. [In Persian].
- [11] Yadav, A.K., and Singh, S.V. 2014. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9): 1654-1673.
- [12] Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H.R., Hamdami, N., Talati, F., and Moghaddam, M. 2010. Convective drying of apple: mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12: 171-178.
- [13] Eshraghi, E., Kashani-Nejad, M., Maghsoudlou, Y., Beiraghi-Toosi, S., and Alami, M. 2014. Studying the effect of osmosis-ultrasound compound pre-treatment on drying kiwi fruit sheets. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(4): 323-329. [In Persian].
- [14] Fernandes, F.A.N., Gallão, M.I., and 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.
- [15] Taiwo, K.A., Eshtiaghi, M.N., Ade-Omowaye, B.I.O., and Knorr, D. 2003. Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(6): 693-707.
- [16] Kowalska, H., Marzec, A., Domian, E., Kowalska, J., Ciużyńska, A., and Galus, S. 2021. Edible coatings as osmotic dehydration pretreatment in nutrient-enhanced fruit or vegetable snacks development: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6): 5641-5674.
- [17] Jalae, F., Fazeli, A., Fatemian, H., and Tavakolipour, H. 2011. Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. *Food and Bioproducts Processing*, 89(4): 367-374.
- [18] Dehghannya, J., Emam-Djomeh, Z., Sotudeh-Gharebagh, R., and Ngadi, M. 2006. Osmotic dehydration of apple slices with carboxy-methyl cellulose coating. *Drying Technology*, 24(1): 45-50.
- [19] García, M., Díaz, R., Martínez, Y., and Casariego, A. 2010. Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Research International*, 43(6): 1656-1660.
- [20] Shukla, B.D., and Singh, S.P. 2007. Osmo-convective drying of cauliflower, mushroom and greenpea. *Journal of Food Engineering*, 80(2): 741-747.

- [21] Raoult-Wack, A.L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 5(8): 255-260.
- [22] Wongphan, P., Panrong, T., and Harnkarnsujarit, N. 2022. Effect of different modified starches on physical, morphological, thermomechanical, barrier and biodegradation properties of cassava starch and polybutylene adipate terephthalate blend film. *Food Packaging and Shelf Life*, 32: 100844.
- [23] Rodrigues, S., Gomes, M.C.F., Gallão, M.I., and Fernandes, F.A.N. 2008. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(4): 665-670.
- [24] Sabahi, S. 2013. Study the effect of ultrasound & microwave methods on osmotic dehydration of celery. Thesis on Food Science and Technology "M.Sc.". Faculty of Agricultural Engineering - Food Science and Technology. Islamic Azad University Sabzevar Branch. [In Persian].
- [25] Rastogi, N.K., and Raghavarao, K.S.M.S. 2004. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *LWT - Food Science and Technology*, 37(1): 43-47.
- [26] Azizi Khasal, M., bassiri, A., and Maghsoudlou, Y., 2013. Optimization of combined process of osmotic dehydration in discontinuous reduced pressure-hot air drying of orange slices using response surface method. *Food Technology & Nutrition*, 10(3): 63-72. [In Persian].
- [27] Seraji, A., Ghanbarzadeh, B., Sowti Khiabani, M., and Movahhed, S. 2012. The study of carboxymethyl cellulose-ascorbic acid based edible coating and osmotic dehydration on cucurbit drying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 8(2): 209-218. [In Persian].
- [28] Emam-Djomeh, Z., and Aladdini, B. 2005. Improving the quality indicators of dried kiwi and its formulation using pre-process osmosis. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 36(6): 1421-1427. [In Persian].



## Optimization of combined pre-process (osmosis-ultrasound) and additional drying with hot air of Pommelo fruit

Maryam Sabetghadam<sup>1</sup>, Fathema Pourhaji<sup>2&3</sup>, Mahdi Jalali<sup>3\*</sup>, Elham Azadfar<sup>1</sup>

1- Young Researchers and Elite Club, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

2- Research and Development Manager, Sepidan Shir Khorasan Company, Fariman Industrial Area, Fariman, Iran

3- Lecturer, University of Applied Science and Technology, Center of Cheshme Noshan Khorasan (Alis)

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Article History:</b> Received: 2023/7/25 Accepted: 2024/1/2</p>	<p>Effect of osmosis dehydration, ultrasonic and edible coating as the pretreatment before drying has been studied in order to improve the flavor of the product, reduce thermal damages, decrease interstitial water and ease of transferring mass. The response surface method was used to optimize the drying conditions of Pommelo slices by osmosis-hot air. The concentration of edible coating (0-2% w/v) and the time of applying ultrasound (0-30 min) and the concentration of sucrose (40-80% w/w) were evaluated as independent variables on the amount of moisture content, absorption of solids, weight loss and productivity coefficient of Pommelo slices as dependent variables. All process variables were linearly significant for all responses (<math>P &lt; 0.01</math>). The comparison of the optimization results of coated and uncoated Pommelo osmotic dehydration showed that at the optimal point, the maximum amount of carboxymethyl cellulose coating and the osmotic dehydration time and the concentration of the osmotic solution in the coated sample were calculated as 2%, 21.86 minutes and 57.75%, respectively. The highest values of water reduction, weight loss and efficiency coefficient were 0.09172 (g/100g of solid matter), 0.091% and 19.478 respectively in the coated sample, and the highest absorption of solids with a value of 0.0089 (g/100g of solids) was reported in the uncoated sample. The results showed that the use of coating reduces the absorption of solid.</p>
<p><b>Keywords:</b></p> <p>Pommelo, Osmosis, Ultrasound, Drying, Hot air</p>	
<p><b>DOI:</b> 10.22034/FSCT.21.148.89. *Corresponding Author E-Mail: mehdijalali62@yahoo.com</p>	