

## Optimization of Ultrasonic-thermal Concentrator Performance under Vacuum Conditions in Watermelon Juice Concentration Process

BEHNAM ALAEI<sup>1</sup>, REZA AMIRI CHAYJAN<sup>1\*</sup>, MOHAMMAD HOSSEIN AZIZI TABRIZ ZAD<sup>2</sup>

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

3. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: May. 23, 2020- Revised: Oct. 19, 2020- Accepted: Nov. 1, 2020)

### ABSTRACT

In this study, an ultrasonic-thermal concentrator under vacuum conditions was fabricated and the effect of concentration variables for watermelon juice concentration was optimized. Concentration temperature process in three levels (40, 50 and 60°C), vacuum pressure in three levels (20, 40 and 60kPa) and ultrasonic waves power in three levels (36, 60 and 84W) were conducted. Statistical analysis of data and optimization of concentration process were performed using response surface method and central composite design. Results showed that the increase of concentration temperature has a positive effect on concentration process time and total energy consumption and negative effect on lycopene content and the total color difference. Decrease of vacuum pressure to caused increased lycopene content and decrease the total color difference, concentration process time and total energy consumption. Also increased ultrasonic waves power caused increase in lycopene content, total color difference, total energy consumption and decrease in concentration process time. Optimization of watermelon juice concentration point was obtained on concentration temperature 40°C, vacuum pressure 20 kPa and ultrasonic waves power 46.5W. Optimal values of response variables in this condition include lycopene content, the total color difference, concentration process time and total energy consumption in equal order 238 mg/kg, 25.7, 94.5 min and 0.727 kWh. The use of ultrasound waves along with the concentration temperature and vacuum pressure could have positive results on the watermelon juice concentration process.

**Keywords:** Lycopene, total color difference, concentration time, total energy consumption, concentrator.

---

\*Corresponding Auth'sor Email: [amirireza@basu.ac.ir](mailto:amirireza@basu.ac.ir)

## بهینه‌سازی عملکرد دستگاه امواج فراصوت-حرارتی تحت شرایط خلاء در فرآیند تغلیظ آب هندوانه

بهنام علایی<sup>۱</sup>، رضا امیری چایجان<sup>۱\*</sup>، محمدحسین عزیزی تبریززاد<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران  
۲. گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۸/۱۱)

### چکیده

در این پژوهش یک دستگاه تغلیظ امواج فراصوت-حرارتی تحت شرایط خلاء ساخته شد و اثر متغیرهای این دستگاه برای فرآیند تولید کنسانتره آب‌هندوانه بهینه‌سازی شد. فرآیند تغلیظ نمونه‌ها در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C، سه سطح فشار خلاء ۲۰، ۴۰ و ۶۰ kPa و سه سطح توان امواج فراصوت ۳۶، ۶۰ و ۸۴ W صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیند تغلیظ با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد. نتایج نشان داد افزایش دمای تغلیظ بر زمان فرآیند تغلیظ و انرژی مصرفی کل اثر مثبت و بر محتوای لیکوپن و تغییرات کلی رنگ اثر منفی داشت. کاهش فشار خلاء سبب افزایش محتوای لیکوپن و کاهش تغییرات کلی رنگ، زمان و انرژی مصرفی شد. افزایش توان امواج فراصوت نیز سبب افزایش محتوای لیکوپن، تغییرات کلی رنگ، انرژی مصرفی کل و کاهش زمان فرآیند تغلیظ گردید. نقطه بهینه کنسانتره آب هندوانه در دمای تغلیظ ۴۰°C، فشار خلاء ۲۰ kPa و توان امواج فراصوت ۴۶/۵ W به دست آمد. مقادیر بهینه متغیرهای پاسخ در این شرایط شامل محتوای لیکوپن، تغییرات کلی رنگ، زمان فرآیند تغلیظ و انرژی مصرفی کل به ترتیب برابر ۲۳۸ mg/kg، ۲۵/۷، ۹۴/۵ min و ۰/۷۲۷ kWh به دست آمدند. به کارگیری امواج فراصوت در کنار دمای تغلیظ و فشار خلاء توانست نتایج مثبتی بر فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه داشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** لیکوپن، تغییرات کلی رنگ، زمان فرآیند تغلیظ، انرژی مصرفی کل، کنسانتره

### مقدمه

(2001). لیکوپن، کاروتنوئید غالب موجود در سرم خون انسان است که با حفاظت از بیومولکول‌های مهم سلولی نظیر DNA، پروتئین‌ها و چربی‌ها از اکسیداسیون و تخریب رادیکالی آن‌ها ممانعت به عمل می‌آورد (Hojjati and Razavi, 2011). تحقیقات نشان داده که با پخته‌شدن و حرارت‌دیدن دسترسی زیستی لیکوپن افزایش می‌یابد (Cohnet et al., 2004; Edwardset al., 2003).

با توجه به فصلی بودن هندوانه و ارزش غذایی بالای آن نیاز به روشی برای فرآوری هندوانه می‌باشد تا ارزش غذایی آن را حفظ کند و در تمام سال دسترسی به آن را امکان‌پذیر کند. یکی از روش‌ها برای نگهداری طولانی مدت محصولات آبیگری و تغلیظ آب‌میوه‌ها می‌باشد که شرایط انجام تغلیظ بر خصوصیات کیفی محصول نهایی بسیار تأثیرگذار است. تغلیظ اتمسفری یک روش متداول برای تغلیظ آب‌میوه‌ها است که در آن جداسازی آب اضافی از آب‌میوه به وسیله تبخیر انجام می‌شود. اثبات شده که حرارت‌دهی در دماهای بالا برای مدت زمان طولانی به دلیل واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی (میلارد) و همچنین اکسیده‌شدن آسکوربیک‌اسید سبب تغییر رنگ، طعم و کیفیت نهایی محصول می‌شود (Al-Maiman and Ahmad, 2002; Ozkan,

هندوانه (*Citrulus Lanatus*) از خانواده *Cucurbitaceae* و بومی مناطق گرمسیر جنوب آفریقا و خاورمیانه است، که به طور تجاری در مناطقی با آب و هوای گرم معتدل کشت می‌شود (Prohens et al., 2008). هندوانه در ایران یکی از محصولات مهم جالیزی محسوب شده و سالیانه بیش از ۱۳۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی کشور به کشت هندوانه اختصاص می‌یابد (Jafari and Jalali, 2015). ایران بعد از چین و ترکیه سومین تولیدکننده هندوانه در جهان است (FAO, 2020). هندوانه به شکل تازه-خوری، آبمیوه، نکتار و غیره استفاده می‌شود (Wani et al., 2008). میوه هندوانه شامل ۹۳٪ آب، کربوهیدرات‌ها، لیکوپن ۲۳۰۰-۷۲۰۰ میکروگرم در صد گرم و ویتامین‌ها است (Quek et al., 2007). پوست هندوانه حاوی مواد غذایی با ارزشی مانند پروتئین، چربی و مواد معدنی می‌باشد (Feizy et al., 2020). لیکوپن (C40H56) یک کاروتنوئید می‌باشد که عامل رنگ قرمز هندوانه است. لیکوپن دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی است که ممکن است بروز برخی از سرطان‌ها را کاهش دهد. هندوانه یکی از منابع‌های طبیعی لیکوپن است (Perkins-Veazie et al.,

می‌شود، علاوه بر این، به دلیل دمای ایجاد شده‌ی کمتر، کیفیت محصول به دست آمده نسبت به فرآیندهای بدون فراصوت به طرز چشمگیری بهتر بود (Dehsheikh and Dinani 2019; Cao *et al.*, 2018; Peng *et al.*, 2017; Musielak *et al.*, 2016; Sabarez *et al.*, 2012). همچنین از فراصوت برای همگن‌سازی مواد غذایی استفاده می‌شود (Aernouts *et al.*, 2015). با توجه به مشکلات تغلیظ حرارتی آب هندوانه و قابلیت‌های فراوان موجود در فرآوری فراصوت، طبق بررسی‌ها هیچ اطلاعاتی از دستگاهی که فراصوت بخشی دائمی در سیستم تغلیظ در کنار حرارت و فشار خلاء برای تغلیظ آب هندوانه استفاده شود وجود ندارد. به همین دلیل در این تحقیق دستگاه تغلیظ فراصوت-حرارتی تحت شرایط خلاء در مقیاس آزمایشگاهی با قابلیت تنظیم سطوح دمای تغلیظ، فشار خلاء و توان امواج فراصوت طراحی و ساخته شد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر دمای تغلیظ، فشار خلاء و توان امواج فراصوت بر تغلیظ آب هندوانه و بهینه‌سازی فرآیند به منظور دستیابی به بیشترین محتوای لیکوپن و کمترین تغییرات کلی رنگ، زمان فرآیند تغلیظ و انرژی مصرفی کل می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

به منظور انجام آزمایش‌ها، هندوانه‌های رسیده از بازار محلی شهر همدان خریداری گردید. پس از شستشو با آب، پوست‌گیری شده و با دستگاه عصاره‌گیر برقی ساخت شرکت Coway کشور کره جنوبی مدل CJP-01 به روش فشاری آبگیری انجام شد. آب هندوانه به دست آمده برای جداسازی ذرات درشت به وسیله صافی پارچه‌ای صاف گردید و تا زمان انجام آزمایش‌ها در فریزر  $18^{\circ}\text{C}$  - قرار داده شد (Martins *et al.*, 2018).

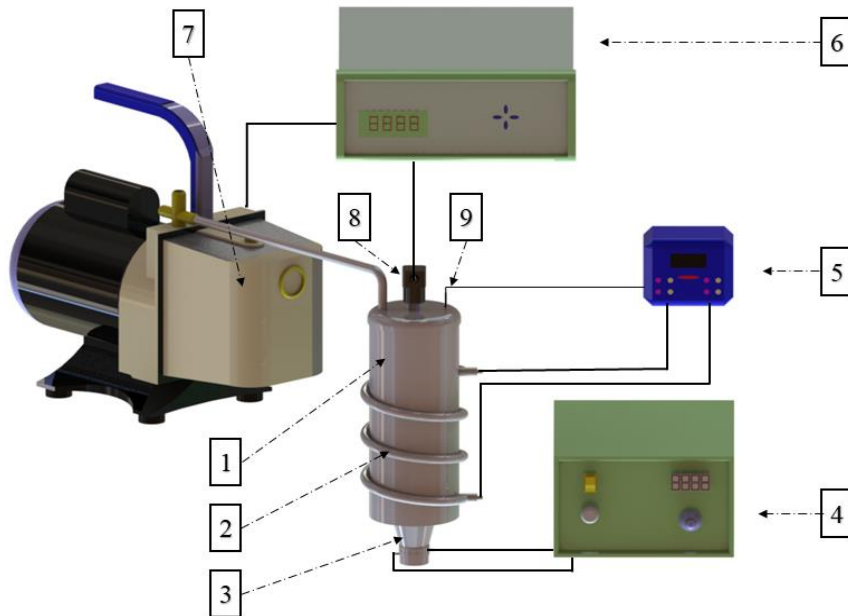
طرح دستگاه تغلیظ امواج فراصوت-حرارتی تحت شرایط خلاء برای انجام آزمایش‌ها یک دستگاه آزمایشگاهی تغلیظ امواج فراصوت-حرارتی تحت شرایط خلاء طراحی و ساخته شد (شکل ۱). امواج فراصوت با فرکانس ۳۷ کیلوهرتز به وسیله فراصوت پیزوالکتریک ساخت شرکت Elma کشور آلمان، که در پایین محفظه تغلیظ نصب شده تأمین گردید و توان امواج با کمک سیگنال ژنراتور تعیین و کنترل شد. حرارت از دور محفظه تغلیظ به وسیله المنتی با توان ۲۵۰ وات تأمین شد. دمای محفظه با کمک حسگر دما نصب شده در محفظه و ترموستات کنترل گردید. برای ایجاد خلاء در محفظه از پمپ خلاء JB-285 ساخت کشور آمریکا استفاده شد. فشار محفظه به وسیله حسگر PSch0001 BCII، ساخت کشور کره جنوبی با دقت ۰/۰۰۱ بار اندازه‌گیری و به وسیله سیستم کنترل فشار تعیین و کنترل گردید.

2002). به همین علت رنگ نهایی محصول یک فاکتور مهم در فرآیندهای غذایی است و باید میزان تغییرات آن را به حداقل رساند (Vadivambal and Jayas, 2007).

با کاهش فشار اتمسفری، نقطه‌ی جوش سیال کاهش می‌یابد. این روش یکی از موثرترین راه‌کارهایی است که در بسیاری از صنایع به ویژه در تولید محصول با ارزش غذایی بالا و حساس به حرارت، استفاده می‌شود. در این روش با ایجاد خلاء، فشار سطح مایع کاهش می‌یابد و مایع با فشار کمتر تبخیر می‌گردد. در نتیجه، ضمن جلوگیری از تخریب حرارتی محصول مصرف انرژی در فرآیند تغلیظ کاهش می‌یابد (Rao *et al.*, 1984). با تغلیظ آبمیوه‌ها، به دلیل کاهش فعالیت آبی و حجم محصول نهایی از هزینه‌های انبارداری، ذخیره‌سازی و نگهداری کاشته می‌شود و هزینه‌های حمل و نقل به طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. همچنین با توجه به هزینه بالای انرژی در صنایع تولید پودر آبمیوه، تمایل به استفاده از کنسانتره به جای آبمیوه تازه به علت درصد بالای مواد جامد آن بیشتر شده است (Heldman *et al.*, 2018).

امواج فراصوت، امواج صوتی با فرکانس بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز می‌باشند. امواج صوتی در طول حرکتشان در محیط سیال سیکل‌های انبساطی و انقباضی را ایجاد می‌کنند. طی انبساط حباب‌هایی در مایع ایجاد می‌شود که پس از بزرگ شدن متلاشی می‌گردند و جت‌های مایع (جریان‌های سریع) با سرعت بالا تولید می‌کنند و سبب ایجاد ضربه‌های شدیدی به سطح جامد می‌شود که به پدیده کاویتاسیون معروف است. همچنین هنگام متلاشی شدن حباب، در مرکز آن گرادیان دمایی ایجاد می‌گردد و باعث بالا رفتن دما و در نتیجه افزایش ضریب نفوذ شده و در نهایت باعث افزایش انتقال جرم می‌شود. بدین ترتیب فراصوت سبب نفوذ بیشتر حلال داخل بافت ماده می‌گردد. امواج صوتی طی استخراج می‌تواند دیواره سلولی بیولوژیکی را تخریب کند و آزاد شدن محتویات درونی آن‌ها را آسان سازد، بنابراین تخریب کارآمد سلولی و انتقال جرم مفید در دماهای کمتر به عنوان دو فاکتور اصلی در استخراج با امواج صوتی هستند. مشخصات محصول مانند مقدار رطوبت، اندازه‌ی ذره و مشخصات امواج فراصوت مانند فرکانس، توان و زمان بسیار تأثیرگذار است (Romdhane and Gourdon, 2002; Shotipruket *et al.*, 2001).

فراصوت یکی از فناوری‌های غیر حرارتی است که باعث افزایش کیفیت و ایمنی مواد غذایی با ویژگی‌های حساس به حرارت مانند آبمیوه‌ها می‌شود (Dolas *et al.*, 2019; Knorret *et al.*, 2011). تجزیه و تحلیل نتایج ارائه شده توسط محققان نشان می‌دهد که استفاده از فراصوت برای خشک‌کردن مواد غذایی باعث کوتاه‌شدن زمان خشک‌شدن و کاهش انرژی مصرفی کل



شکل ۱- نمای کلی دستگاه تغلیظ امواج فراصوت - حرارتی تحت شرایط خلأ (۱- محفظه‌ی تغلیظ، ۲- المنت، ۳- فراصوت پیزوالکتریک، ۴- ژنراتور فراصوت، ۵- ترموستات الکتریکی، ۶- سیستم کنترل خلأ، ۷- پمپ خلأ، ۸- حسگر خلأ، ۹- حسگر دما)

شد. روش سطح پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای پاسخ به کار برده شد. تیمارها در ۲۰ آزمایش بر اساس طرح CCD شامل پنج تکرار در نقطه مرکزی تعریف گردید (جدول ۱). برازش سطوح پاسخ و بهینه‌سازی فرآیند تغلیظ با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert 11 انجام شد.

### طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه، متغیرهای مستقل شامل دمای تغلیظ در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C، فشار خلأ در سه سطح ۲۰، ۴۰ و ۶۰ kPa و توان امواج فراصوت در سه سطح ۳۶، ۶۰ و ۸۴ W و متغیرهای پاسخ شامل: محتوای لیکوپن (mg/kg)، تغییرات کلی رنگ، زمان فرآیند تغلیظ (min) و انرژی مصرفی کل (kWh) در نظر گرفته

جدول ۲. آزمایش‌های انجام شده برای بررسی اثر متغیرهای پاسخ بر فرآیند تغلیظ آب هندوانه به روش سطح پاسخ

تکرار	سطوح متغیرهای مستقل (سطوح کدبندی)			شماره آزمایش
	توان امواج فراصوت (W)	فشار خلأ (kPa)	دمای تغلیظ (°C)	
۶	۶۰(+)	۴۰(+)	۵۰(+)	۱
۱	۳۶(-)	۴۰(+)	۵۰(+)	۲
۱	۶۰(+)	۶۰(+)	۵۰(+)	۳
۱	۶۰(+)	۴۰(+)	۶۰(+)	۴
۱	۸۴(+)	۶۰(+)	۴۰(-)	۵
۱	۸۴(+)	۲۰(-)	۶۰(+)	۶
۱	۸۴(+)	۶۰(+)	۶۰(+)	۷
۱	۸۴(+)	۴۰(+)	۵۰(+)	۸
۱	۳۶(-)	۲۰(-)	۶۰(+)	۹
۱	۳۶(-)	۲۰(-)	۴۰(-)	۱۰
۱	۳۶(-)	۶۰(+)	۴۰(-)	۱۱
۱	۸۴(+)	۲۰(-)	۴۰(-)	۱۲
۱	۶۰(+)	۴۰(+)	۴۰(-)	۱۳
۱	۶۰(+)	۲۰(-)	۵۰(+)	۱۴
۱	۳۶(-)	۶۰(+)	۶۰(+)	۱۵

### اندازه گیری محتوای لیکوپین

لیکوپین با اسپکتروفتومتر به روش Fish et al. (2002) اندازه گیری شد (Fish et al., 2002). روش اندازه گیری به این ترتیب بود: نیم گرم کنسانتره هندوانه تهیه شده را به ظرفی شامل ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵٪، ۵ میلی لیتر استون خالص و ۱۰ میلی لیتر هگزان اضافه شد. ظرف روی شیکر با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و سپس ۳ میلی لیتر آب مقطر مجدداً به نمونه‌ها اضافه گردید. از فاز بالایی، نمونه‌ای با دقت برداشته شد و در طول موج ۵۰۳ نانومتر جذب آن به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (واریان، مدل کری ۱۰۰، کشور آمریکا) خوانده شد. محتوای لیکوپین بافت توسط رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{Lycopene (mg/kg)} = \frac{A_{503} \times 0.0312}{\text{kg}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

### اندازه گیری رنگ

به منظور اندازه گیری شاخص‌های رنگی نمونه‌های آزمایشی، قبل و بعد از تغلیظ به وسیله دستگاه رنگ سنج هانتربل ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) مدل HP ساخت کشور چین، مقادیر رنگی  $L^*$  (مقدار روشنایی)،  $a^*$  (مقدار رنگ سبز به قرمز) و  $b^*$  (مقدار رنگ آبی به زرد) اندازه گیری گردید. تغییرات کلی رنگ ( $\Delta E$ ) نمونه‌ها با استفاده از فرمول (۲) برحسب پارامترهای رنگی  $L^* a^* b^*$  محاسبه شد (Alaei and Amiri Chayjan, 2015).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_1^*)^2 + (a_0^* - a_1^*)^2 + (b_0^* - b_1^*)^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این فرمول  $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$  مقادیر اولیه پارامترهای رنگی و  $L_1^*$ ,  $a_1^*$ ,  $b_1^*$  مقادیر پارامترهای رنگی نمونه‌های تغلیظ شده‌ی آب هندوانه می‌باشد.

### اندازه گیری زمان فرآیند تغلیظ

فرآیند تغلیظ نمونه‌های آب هندوانه برحسب دقیقه (min) تا زمان رسیدن به غلظت نهایی با بریکس ۴۰ در تمام آزمایش‌ها ادامه پیدا کرد. میزان مواد جامد محلول کنسانتره آب هندوانه با استفاده از رفراکتومتر دیجیتال (ساخت شرکت Kruss، مدل DR101-60، کشور آلمان) اندازه گیری شد.

### اندازه گیری انرژی مصرفی کل

انرژی مصرفی کل دستگاه تغلیظ شامل انرژی مصرفی سیگنال ژنراتور و فراصوت پیزوالکتریک، المنت حرارتی و ترموستات الکتریکی، پمپ خلاء و سیستم کنترل فشار می‌باشد. برای اندازه گیری انرژی مصرفی کل، تمام دستگاه تغلیظ در حین فرآیند به یک دستگاه پاور آنالایزر (ساخت شرکت Efergy، مدل EMS-EU، کشور انگلستان) وصل گردید. انرژی مصرفی کل برحسب کیلو وات ساعت (kWh) به دست آمد.

### الگوی اندازه ذرات آب هندوانه تحت امواج فراصوت

به منظور بررسی تأثیر امواج فراصوت دستگاه تغلیظ بر الگوی ذرات تشکیل دهنده آب هندوانه، نمونه‌هایی با اندازه ۲۰۰ میلی لیتر از آب هندوانه تهیه گردید و در محفظه تغلیظ ریخته شد، سپس در محفظه برای جلوگیری از تبخیر آب هندوانه نصب گردید. در دمای  $25^\circ\text{C}$  و فشار اتمسفر نمونه‌ها به ترتیب تحت تأثیر سه سطح توان امواج فراصوت (۳۶، ۶۰ و  $84\text{W}$ ) به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت، پس از مدت یک ساعت هم‌دما شدن با محیط، همزده شد و به وسیله میکروسکوپ دیجیتال با ۲۰۰ مرتبه بزرگنمایی عکس برداری شد. نتیجه با عکس نمونه‌ی اولیه‌ی آب هندوانه مقایسه گردید (Campoliet et al., 2018; Kuboet et al., 2013).

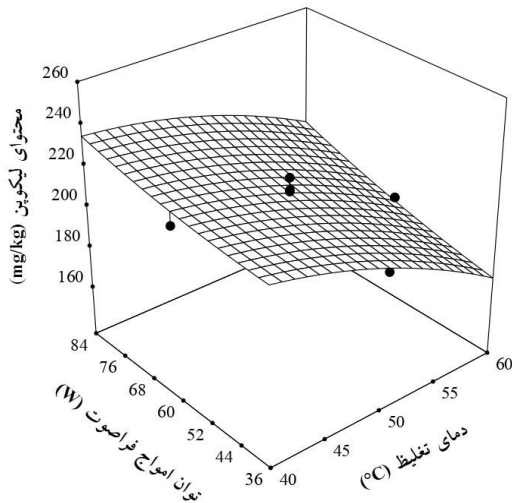
### نتایج و بحث

نتایج آنالیز داده‌های آزمایش‌ها به وسیله روش سطح پاسخ در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به مقادیر آماری ارائه شده در این جدول مشاهده می‌شود، مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) برای تمامی مدل‌های برازش شده به معادله رگرسیونی درجه دوم، بالاتر از ۰/۹۶ است که بزرگ بودن  $R^2$  تأییدکننده تطابق رضایت بخش داده‌های آزمایش‌ها بر مدل برازش شده است. آزمون عدم برازش<sup>۱</sup> تغییرات داده‌ها را حول مدل برازش شده توصیف می‌نماید. اگر مدل به خوبی برازش نشده باشد، این آزمون معنی‌دار است که برای تمام متغیرهای مورد بررسی معنی‌دار نشد، این نشان می‌دهد مدل‌های ارائه شده به روش سطح پاسخ به خوبی توانسته‌اند مقدار تغییرات متغیرهای پاسخ را پیش‌بینی کنند. انحراف معیار (Std. Dev.) یک معیار سنجش برای میزان پراکندگی داده‌ها حول میانگین و ضریب تغییرات داده‌ها بر ((C.V.%) معیاری است که از تقسیم انحراف معیار داده‌ها بر میانگین داده‌ها به دست می‌آید و هر اندازه این دو شاخص کمتر باشد، میزان پراکندگی داده‌ها کمتر خواهد شد. میزان این دو شاخص برای تمام متغیرهای پاسخ مورد بررسی قابل قبول شد (Ghasemi et al., 2018).

### محتوای لیکوپین کنسانتره آب هندوانه

بیشترین محتوای لیکوپین ( $251/3 \text{ mg/kg}$ ) در شرایط تغلیظ کردن با دمای  $40^\circ\text{C}$ ، فشار خلاء  $20 \text{ kPa}$  و توان امواج فراصوت  $84 \text{ W}$  به دست آمد. کمترین محتوای لیکوپین ( $164/4 \text{ mg/kg}$ ) نیز تحت شرایط با دمای  $60^\circ\text{C}$ ، فشار خلاء  $60 \text{ kPa}$  و توان امواج فراصوت  $36 \text{ W}$  به دست آمد. فرآیند تغلیظ می‌تواند با کاهش محتوای رطوبتی و افزایش مواد جامد محلول سبب افزایش محتوای لیکوپین شود (Arocho et al., 2012).  
با توجه به نتایج جدول ۲، مشاهده شد که اثر خطی دمای

توان امواج فراصوت گزارش شده است (Lianfu and Zelong, 2008).



شکل ۲- اثر متقابل دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت بر محتوای لیکوپین کنسانتره آب‌هندوانه.

تغلیظ، فشار خلاء و توان امواج فراصوت، همچنین اثر متقابل دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت و عبارت درجه دوم دمای تغلیظ بر محتوای لیکوپین کنسانتره آب‌هندوانه معنی‌دار بودند. شکل ۲ اثر متقابل دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت بر محتوای لیکوپین کنسانتره هندوانه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که کاهش دمای تغلیظ و افزایش توان امواج فراصوت سبب افزایش محتوای لیکوپین کنسانتره آب‌هندوانه می‌گردد. افزایش دمای تغلیظ سبب کاهش محتوای لیکوپین کنسانتره آب‌هندوانه به دلیل تخریب حرارتی شد (Sharma et al., 2008). محتوای لیکوپین کنسانتره آب‌هندوانه با کاهش فشار خلاء افزایش یافت. کاهش فشار خلاء سبب کاهش نقطه جوش سیال می‌گردد و اثرات مخرب حرارتی را کاهش می‌دهد (Amiri Rigi et al., 2015). افزایش توان امواج فراصوت می‌تواند سبب شکسته شدن بافت‌های پالپ آب‌هندوانه و آزاد سازی لیکوپین موجود در آن گردد. نتایج مشابهی برای استخراج لیکوپین گوجه فرنگی با افزایش

جدول ۲. ضرایب مدل برازش شده به معادله رگرسیونی درجه دوم برای متغیرهای پاسخ ( $X_1$  درجه حرارت تغلیظ،  $X_2$  فشار خلاء و  $X_3$  توان امواج فراصوت)

ضرایب مدل				منابع تغییرات
انرژی مصرفی کل (kWh)	زمان فرآیند تغلیظ (min)	تغییرات کلی رنگ	محتوای لیکوپین (mg/kg)	
$+78/9 \times 10^{-2}$	$+98/5$	$+31/7$	$+211/8$	عرض از مبدأ (b <sub>0</sub> )
$-6/4 \times 10^{-2a}$	$-9/2^a$	$+4/0^a$	$-20/0^a$	عبارت خطی (b <sub>1</sub> ) $X_1$
$+5/9 \times 10^{-2a}$	$+9/2^a$	$+2/2^a$	$-9/3^a$	(b <sub>2</sub> ) $X_2$
$+4/8 \times 10^{-2a}$	$-5/2^a$	$+2/1^a$	$+10/3^a$	(b <sub>3</sub> ) $X_3$
$-1/4 \times 10^{-2b}$	$-2/7^b$	$+9/5 \times 10^{-1c}$	$+4/7 \times 10^{-1ns}$	اثر متقابل (b <sub>12</sub> ) $X_1X_2$
$+1/0 \times 10^{-2c}$	$+1/6^c$	$+5 \times 10^{-2ns}$	$+3/6^c$	(b <sub>13</sub> ) $X_1X_3$
$-66 \times 10^{-2ns}$	$-1/6^c$	$+7/3 \times 10^{-1c}$	$+2/05^{ns}$	(b <sub>23</sub> ) $X_2X_3$
$-1/0 \times 10^{-2ns}$	$-2/30^{ns}$	$+1/0^{ns}$	$-6/3^c$	عبارت درجه دوم (b <sub>11</sub> ) $X_1^2$
$-2/2 \times 10^{-2b}$	$-2/9^c$	$-1/3^c$	$+4/4^{ns}$	(b <sub>22</sub> ) $X_2^2$
$+94 \times 10^{-2ns}$	$+2/9^c$	$+83/6 \times 10^{-2ns}$	$+2/5^{ns}$	(b <sub>33</sub> ) $X_3^2$
$0/5^{ns}$	$0/7^{ns}$	$0/3^{ns}$	$0/1^{ns}$	Lack of Fit (P-value)
$0/0^a$	$0/0^a$	$0/0^a$	$0/0^a$	Model (P-value)
$0/98876$	$0/98114$	$0/9726$	$0/9680$	R <sup>2</sup>
$1/5$	$2/1$	$2/7$	$2/1$	C.V. (%)
$11/5 \times 10^{-2}$	$2/00$	$87/53 \times 10^{-2}$	$4/52$	Std. Dev.

a بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱، b اختلاف معنی‌دار در ۰/۱، c اختلاف معنی‌دار در ۰/۵ و ns عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

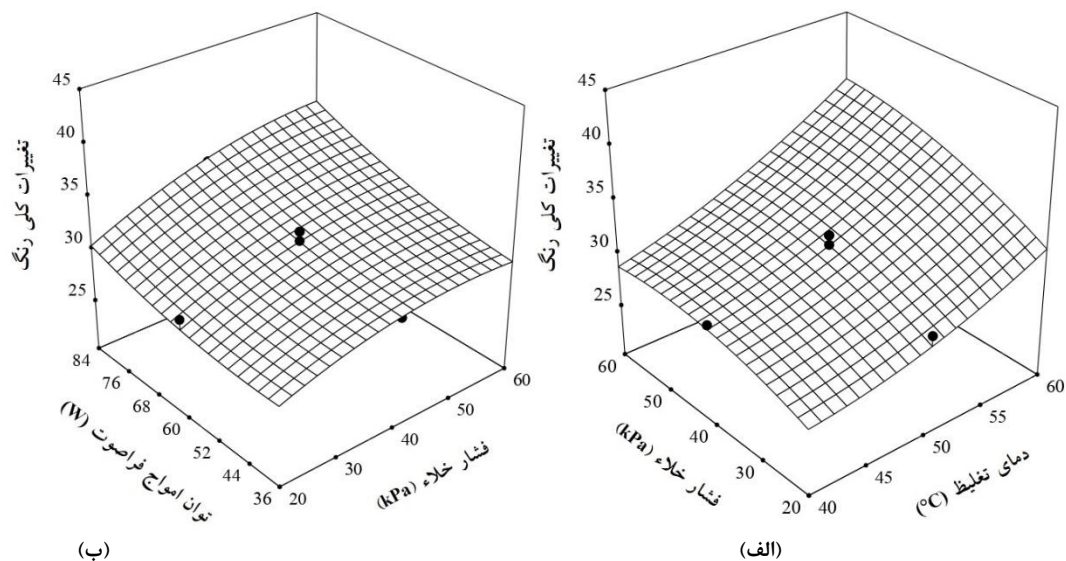
(۲۵/۱) نیز تحت شرایط با دمای ۴۰°C، فشار خلاء ۲۰ kPa و توان امواج فراصوت ۳۶ W به دست‌آمد. کاهش محتوای رطوبتی و تغلیظ آب‌میوه همچنین می‌تواند سبب تغییرات رنگ محصول شود (Wibowo et al., 2015). با توجه به نتایج جدول ۲، مشاهده

#### تغییرات کلی رنگ

بیشترین مقدار تغییرات کلی رنگ آب‌هندوانه (۴۳/۱) در شرایط تغلیظ کردن با دمای ۶۰°C، فشار خلاء ۶۰ kPa و توان امواج فراصوت ۸۴ W به دست‌آمد. کمترین مقدار تغییرات کلی رنگ

فراصوت تغییرات کلی رنگ به دلیل تخریب حرارتی افزایش می‌یابد (Oberoi and Sogi, 2017). تأثیر دمای تغلیظ بسیار بیشتر از توان امواج فراصوت بر تغییرات کلی رنگ بود که علت آن ناشی از تفاوت میزان انرژی حرارتی تولید شده توسط المنت حرارتی و فراصوت پیزوالکتریک می‌باشد (Ricca *et al.*, 2016). همچنین کاهش فشار خلاء به دلیل کاهش نقطه جوش سیال و افزایش سرعت تبخیر سبب کاهش تغییرات کلی رنگ شد (Yilmaz and Ersus Bilek, 2017).

شد که اثر خطی دمای تغلیظ، فشار خلاء و توان امواج فراصوت، همچنین اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء و اثر متقابل فشار خلاء و توان امواج فراصوت و عبارت درجه دوم فشار خلاء بر تغییرات کلی رنگ آب‌هندوانه در فرآیند تغلیظ معنی‌دار بودند. شکل‌های ۳ (الف) و ۳ (ب) به ترتیب اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء و اثر متقابل فشار خلاء و توان امواج فراصوت بر تغییرات کلی رنگ آب‌هندوانه در فرآیند تغلیظ را نشان می‌دهند. همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش دمای تغلیظ و توان امواج



شکل ۳- (الف) اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء بر تغییرات کلی رنگ کنسانتره آب‌هندوانه در فرآیند تغلیظ و (ب) اثر متقابل فشار خلاء و توان امواج فراصوت بر تغییرات کلی رنگ کنسانتره آب‌هندوانه در فرآیند تغلیظ.

سیال بودن آب‌هندوانه و تبخیر سریع‌تر آن در فشار خلاء پایین‌تر باشد (Adnan *et al.*, 2018). افزایش دمای تغلیظ بیشتر از توان امواج فراصوت بر کاهش زمان فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه تأثیر داشت که ناشی از تفاوت سطح توان منابع تولید انرژی حرارتی آن‌ها می‌باشد (Ricca *et al.*, 2016).

#### انرژی مصرفی کل

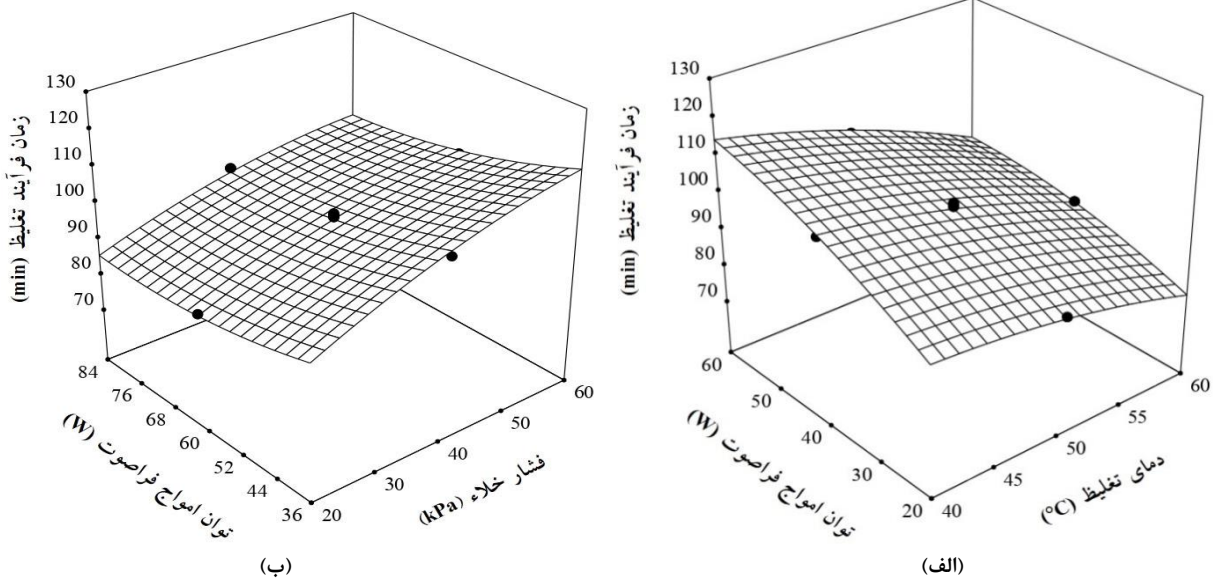
بیشترین مقدار انرژی مصرفی کل فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه (۰/۹۳۸ kWh) در شرایط تغلیظ کردن با دمای ۴۰ °C، فشار خلاء ۶۰ kPa و توان امواج فراصوت ۸۴ W به دست آمد. کمترین مقدار انرژی مصرفی کل (۰/۵۹۱ kWh) نیز تحت شرایط با دمای ۶۰ °C، فشار خلاء ۲۰ kPa و توان امواج فراصوت ۳۶ W به دست آمد. با توجه به نتایج جدول ۲، مشاهده شد که اثر خطی دمای تغلیظ، فشار خلاء و توان امواج فراصوت، همچنین اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء و اثر متقابل دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت و عبارت درجه دوم فشار خلاء بر انرژی مصرفی کل فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه معنی‌دار بودند. شکل‌های ۵ (الف) و ۵ (ب) به ترتیب

#### زمان فرآیند تغلیظ

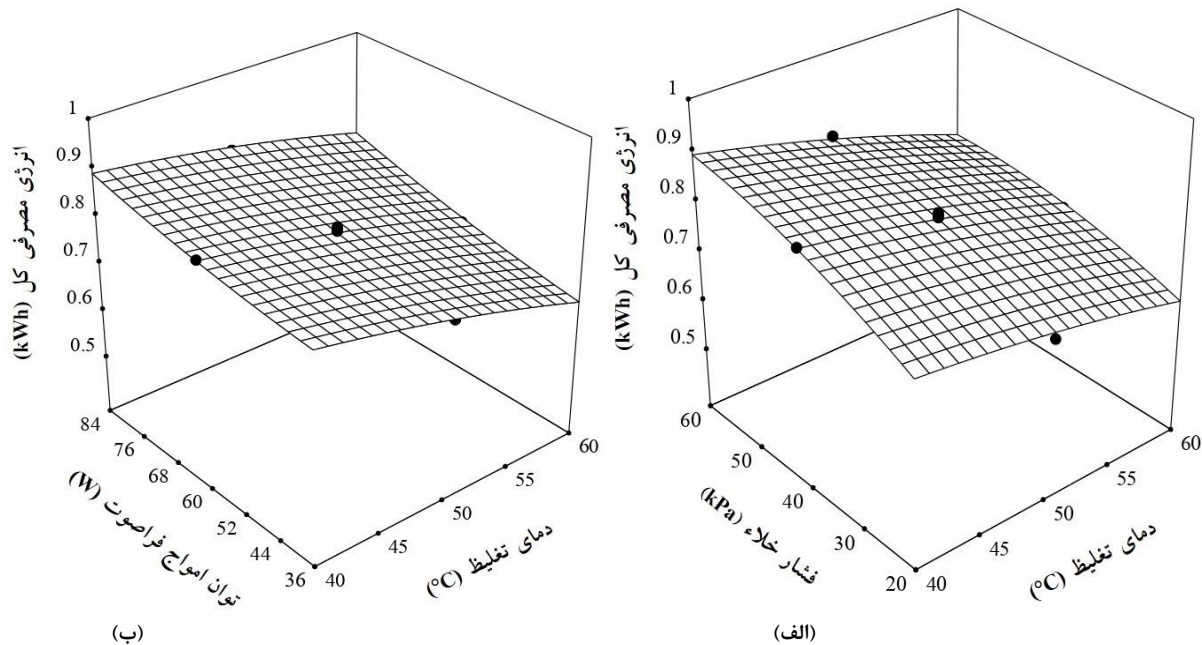
بیشترین مقدار زمان فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه (۱۲۵/۲ min) در شرایط تغلیظ کردن با دمای ۴۰ °C، فشار خلاء ۶۰ kPa و توان امواج فراصوت ۳۶ W به دست آمد. کمترین مقدار زمان فرآیند تغلیظ (۷۹ min) نیز تحت شرایط با دمای ۶۰ °C، فشار خلاء ۶۰ kPa و توان امواج فراصوت ۸۴ W به دست آمد. با توجه به نتایج جدول ۲، مشاهده شد که اثر خطی دمای تغلیظ، فشار خلاء و توان امواج فراصوت، همچنین اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء، اثر متقابل دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت و توان امواج فراصوت و عبارت درجه دوم فشار خلاء و توان امواج فراصوت بر زمان فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه معنی‌دار بودند. شکل-های ۴ (الف) و ۴ (ب) به ترتیب اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء و اثر متقابل فشار خلاء و توان امواج فراصوت بر زمان فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه را نشان می‌دهند. با افزایش دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت و کاهش فشار خلاء زمان فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه کاهش یافت. پارامتر فشار خلاء بیشتر از دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت بر زمان فرآیند تغلیظ اثرگذار بود که می‌تواند به علت

پمپ خلاء را بیش تر کرد، ولی با کاهش قابل توجه در زمان فرآیند تغلیظ انرژی مصرفی کل کاهش یافت. افزایش توان امواج فراصوت، انرژی مصرفی ژنراتور فراصوت را افزایش داد، اما به دلیل توان‌های مصرفی پایین ژنراتور فراصوت نسبت به المنت حرارتی، پمپ خلاء و سایر اجزای دستگاه تغلیظ تأثیر قابل توجهی بر انرژی مصرفی کل نداشت. نتایج مشابهی توسط سایر محققین در تغلیظ آب‌میوه گزارش شده است (Magerramovet al., 2007; Nindo et al., 2004).

اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء و اثر متقابل دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت بر انرژی مصرفی کل فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه را نشان می‌دهند. با افزایش دمای تغلیظ و کاهش فشار خلاء و توان امواج فراصوت انرژی مصرفی کل فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه کاهش یافت. افزایش دمای تغلیظ سبب افزایش توان مصرفی المنت حرارتی شد اما با کاهش زمان فرآیند تغلیظ انرژی مصرفی کل را کاهش داد. کاهش فشار خلاء نیز مدت زمان روشن بودن پمپ خلاء در حین فرآیند تغلیظ را افزایش داد که توان مصرفی



شکل ۴- (الف) اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء بر زمان فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه و (ب) اثر متقابل فشار خلاء و توان امواج فراصوت بر زمان فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه.



شکل ۵- (الف) اثر متقابل دمای تغلیظ و فشار خلاء بر انرژی مصرفی کل فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه و (ب) اثر متقابل دمای تغلیظ و توان امواج فراصوت بر انرژی مصرفی کل فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه.



نشان می‌دهد که مطلوب‌ترین حالت برای کنسانتره آب‌هندوانه در شرایط دمای تغلیظ  $40^{\circ}\text{C}$ ، فشار خلاء  $20\text{ kPa}$  و توان امواج فراصوت  $46/5\text{ W}$  می‌باشد. تحت این شرایط مقدار بهینه متغیرهای پاسخ شامل محتوای لیکوپن، تغییرات کلی رنگ، زمان فرآیند تغلیظ و انرژی مصرفی کل به ترتیب برابر با  $\text{mg/kg}$   $237/8$ ،  $25/7$ ،  $94/5\text{ min}$  و  $0/727\text{ kWh}$  به دست آمدند. نتایج تحت شرایط ملایم‌تر (دمای تغلیظ، فشار خلاء و توان امواج فراصوت پایین‌تر) سبب افزایش شاخص مطلوبیت گردید.

### شرایط بهینه تغلیظ آب‌هندوانه در دستگاه تغلیظ امواج فراصوت-حرارتی تحت شرایط خلاء

به منظور بهینه‌سازی هم‌زمان متغیرهای پاسخ از روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت استفاده شد. کمترین و بیشترین مقادیر به دست آمده از آزمایش‌ها و ضریب اهمیت آن‌ها برای متغیرهای پاسخ مورد بررسی در جدول ۳ آورده شده‌اند. با استفاده از روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت، نقطه بهینه با بیشترین شاخص مطلوبیت  $0/978$  برای انجام فرآیند تغلیظ آب‌هندوانه تعیین شده که در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج به دست آمده از جدول ۴

جدول ۳. هدف و محدودی متغیرهای پاسخ و ضریب اهمیت آن‌ها جهت بهینه‌سازی فرآیند تغلیظ آب هندوانه به روش سطح پاسخ

متغیرهای پاسخ	هدف	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	ضریب اهمیت
محتوای لیکوپن ( $\text{mg/kg}$ )	بیشینه	۱۶۴	۲۵۱	۴
تغییرات کلی رنگ	کمینه	۲۵/۱	۴۳/۱	۳
زمان فرآیند تغلیظ ( $\text{min}$ )	کمینه	۷۹	۱۲۵/۲	۱
انرژی مصرفی کل ( $\text{kWh}$ )	کمینه	۰/۵۹۱	۰/۹۳۸	۲

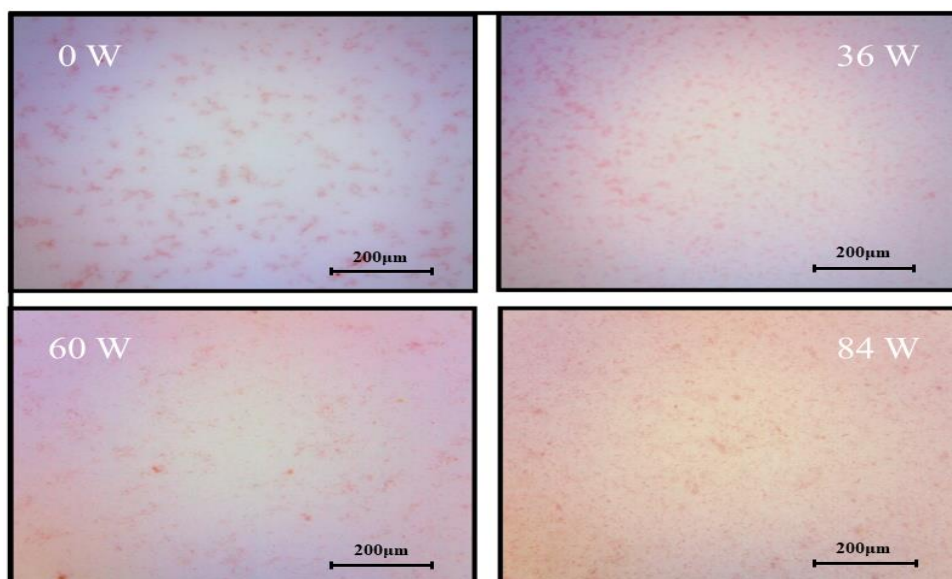
جدول ۴. مقادیر پیش‌بینی شده‌ی متغیرهای مستقل و پاسخ در شرایط بهینه فرآیند تغلیظ آب هندوانه به روش سطح پاسخ

شماره	دمای تغلیظ ( $^{\circ}\text{C}$ )	فشار خلاء ( $\text{kPa}$ )	توان امواج فراصوت ( $\text{W}$ )	محتوای لیکوپن ( $\text{mg/kg}$ )	تغییرات کلی رنگ	زمان فرآیند تغلیظ ( $\text{min}$ )	انرژی مصرفی کل ( $\text{kWh}$ )	شاخص مطلوبیت
۱	۴۰	۲۰	۴۶/۵	۲۳۸	۲۵/۷	۹۴/۵	۰/۷۲۷	۰/۹۷۸

شد. شکل ۶ تأثیر افزایش توان امواج فراصوت بر استخراج بیشتر لیکوپن از پالپ آب‌هندوانه در فرآیند تغلیظ را توجیه می‌کند. با افزایش توان امواج فراصوت، آب‌هندوانه همگن‌تر شد که بر تغییرات کلی رنگ آب‌هندوانه حین فرآیند تغلیظ اثرگذار بود (Kuboet al., 2013; Campoliet al., 2018).

### الگوی اندازه ذرات آب‌هندوانه تحت امواج فراصوت

تغییر الگوی ذرات پالپ آب‌هندوانه تحت امواج فراصوت با توان‌های مختلف به وسیله میکروسکوپ دیجیتال در شکل ۶ نشان داده شده است. شکسته شدن ذرات پالپ هندوانه و تغییر اندازه‌شان با افزایش توان امواج فراصوت در مقایسه با نمونه شاهد دیده



شکل ۶- الگوی اندازه ذرات آب‌هندوانه زیر میکروسکوپ دیجیتال تحت توان‌های مختلف امواج فراصوت.

## نتیجه‌گیری

تغییرات کلی رنگ، زمان فرآیند تغلیظ، انرژی مصرفی کل و افزایش محتوای لیکوپین شد. افزایش توان امواج فراصوت سبب افزایش محتوای لیکوپین، تغییرات کلی رنگ، انرژی مصرفی کل و کاهش زمان فرآیند تغلیظ گردید. همچنین افزایش توان امواج فراصوت سبب کاهش اندازه ذرات پالپ آبهندوانه شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده همزمان از امواج فراصوت با دمای تغلیظ و فشار خلاء در فرآیند تغلیظ آبهندوانه کیفیت کنسانتره و فرآیند تغلیظ آب هندوانه را بهبود داد.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌های تغلیظ آب‌هندوانه به وسیله دستگاه تغلیظ امواج فراصوت-حرارتی تحت شرایط خلاء نتایج زیر از این پژوهش قابل استخراج هستند: اثر هر سه متغیر مستقل دمای تغلیظ، فشار خلاء و توان امواج فراصوت بر همه متغیرهای پاسخ تغلیظ آب‌هندوانه شامل محتوای لیکوپین، تغییرات کلی رنگ، زمان فرآیند تغلیظ و انرژی مصرفی کل معنی-دار بود. افزایش دمای تغلیظ سبب کاهش محتوای لیکوپین، زمان فرآیند تغلیظ و انرژی مصرفی کل و افزایش تغییرات کلی رنگ کنسانتره آب‌هندوانه گردید. کاهش فشار خلاء سبب کاهش

## REFERENCES

- Adnan, A., Mushtaq, M., & ul Islam, T. (2018). Fruit Juice Concentrates. In *Fruit Juices* (pp. 217-240). Academic Press.
- Aernouts, B., Van Beers, R., Watté, R., Huybrechts, T., Jordens, J., Vermeulen, D., & Saeys, W. (2015). Effect of ultrasonic homogenization on the Vis/NIR bulk optical properties of milk. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 126, 510-519.
- Alaei, B. & Amiri Chayjan, R., (2015). Drying characteristics of pomegranate arils under near infrared-vacuum conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(5), 469-479.
- Al-Maiman, S.A. & Ahmad, D., (2002). Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit maturation. *Food Chemistry*, 76(4), 437-441.
- Amiri Rigi, A., Yosefi, G., Yosefi, S., & Emam Jomeh, Z. (2015). Effect of vacuum and microwave concentrating techniques on Color stability and antioxidant properties of black and red raspberry juice. *Food Science and Technology*, 13(56), 181-192.
- Arocho, Y. D., Bellmer, D., Maness, N., McGlynn, W., & Rayas-Duarte, P. (2012). Watermelon pomace composition and the effect of drying and storage on lycopene content and color. *Journal of Food Quality*, 35(5), 331-340.
- Campoli, S.S., Rojas, M.L., do Amaral, J.E.P.G., Canniatti-Brazaca, S.G. & Augusto, P.E.D., (2018). Ultrasound processing of guava juice: Effect on structure, physical properties and lycopene in vitro accessibility. *Food Chemistry*, 268, 594-601.
- Cao, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Zhong, Q., & Wang, Z. (2018). Effects of ultrasonic pretreatments on quality, energy consumption and sterilization of barley grass in freeze drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40, 333-340.
- Cohn, W., Thürmann, P., Tenter, U., Aebischer, C., Schierle, J. & Schalch, W., (2004). Comparative multiple dose plasma kinetics of lycopene administered in tomato juice, tomato soup or lycopene tablets. *European Journal of Nutrition*, 43(5), 304-312.
- Dehsheikh, F. N., & Dinani, S. T. (2019). Coating pretreatment of banana slices using carboxymethyl cellulose in an ultrasonic system before convective drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 401-413.
- Dolas, R., Saravanan, C., & Kaur, B. P. (2019). Emergence and era of ultrasonic's in fruit juice preservation: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 58, paper# 104609.
- Edwards, A.J., Vinyard, B.T., Wiley, E.R., Brown, E.D., Collins, J.K., Perkins-Veazie, P., Baker, R.A. & Clevidence, B.A., (2003). Consumption of watermelon juice increases plasma concentrations of lycopene and  $\beta$ -carotene in humans. *The Journal of Nutrition*, 133(4), pp.1043-1050.
- Feizy, J., Jahani, M., & Ahmadi, S. (2020). Antioxidant activity and mineral content of watermelon peel. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*. 3(1), 35-40.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Accessed: Mar. 09, 2020.
- Fish, W.W., Perkins-Veazie, P. & Collins, J.K., (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(3), pp.309-317.
- Ghasemi, A., Chayjan, R. A., & Najafabadi, H. J. (2018). Optimization of granular waste production based on mechanical properties. *Waste Management*, 75, 82-93.
- Heldman, D.R., Lund, D.B. & Sabliov, C. eds., (2018). *Handbook of Food Engineering*, CRC press.
- Hojjati, M. & Razavi, S.H., (2011). Review on lycopene characteristics and role of microorganisms on its production. *Food Science and Technology*, 8(29), 11-25.
- Jafari, P. & Jalali, A.H., (2015). Comparison of Three Methods of Planting Watermelon (*Citrullus lanatus*) in Varamin. *Journal of Crop Production and Processing*, 4(13), 15-24.
- Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., & Schoessler, K. (2011). Emerging

- technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2, 203-235.
- Kubo, M.T.K., Augusto, P.E. & Cristianini, M., (2013). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice. *Food Research International*, 51(1), 170-179.
- Lianfu, Z., & Zelong, L. (2008). Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(5), 731-737.
- Magerramov, M. A., Abdulagatov, A. I., Azizov, N. D., & Abdulagatov, I. M. (2007). Effect of temperature, concentration, and pressure on the viscosity of pomegranate and pear juice concentrates. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 476-489.
- Martins, C.P., Ferreira, M.V.S., Esmerino, E.A., Moraes, J., Pimentel, T.C., Rocha, R.S., Freitas, M.Q., Santos, J.S., Ranadheera, C.S., Rosa, L.S. & Teodoro, A.J., (2018). Chemical, sensory, and functional properties of whey-based popsicles manufactured with watermelon juice concentrated at different temperatures. *Food Chemistry*, 255, 58-66.
- Musielak, G., Mierzwa, D., & Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound—A review. *Trends in Food Science and Technology*, 56, 126-141.
- Nindo, C. I., Tang, J., Powers, J. R., & Bolland, K. (2004). Energy consumption during Refractance Window evaporation of selected berry juices. *International Journal of Energy Research*, 28(12), 1089-1100.
- Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2017). Prediction of lycopene degradation during dehydration of watermelon pomace (cv Sugar Baby). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 97-103.
- Ozkan, M., (2002). Degradation of anthocyanins in sour cherry and pomegranate juices by hydrogen peroxide in the presence of added ascorbic acid. *Food Chemistry*, 78(4), 499-504.
- Peng, C., Ravi, S., Patel, V. K., Momen, A. M., & Moghaddam, S. (2017). Physics of direct-contact ultrasonic cloth drying process. *Energy*, 125, 498-508.
- Perkins-Veazie, P., Collins, J.K., Pair, S.D. & Roberts, W., (2001). Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(10), 983-987.
- Prohens, J., Nuez, F. & Carena, M.J., (2008). Handbook of plant breeding. New York: Springer.
- 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.
- Rao, M.A., Cooley, H.J. & Vitali, A.A., (1984). Flow properties of concentrated juices at low temperatures. *Food Technology*, 49, 876-881.
- Ricce, C., Rojas, M. L., Miano, A. C., Siche, R., & Augusto, P. E. D. (2016). Ultrasound pretreatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89, 701-708.
- Romdhane, M. & Gourdon, C., (2002). Investigation in solid-liquid extraction: influence of ultrasound. *Chemical Engineering Journal*, 87(1), 11-19.
- Sabarez, H. T., Gallego-Juarez, J. A., & Riera, E. (2012). Ultrasonic-assisted convective drying of apple slices. *Drying Technology*, 30(9), 989-997.
- Sharma, R., Kaur, D., Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2008). Thermal degradation kinetics of pigments and visual color in watermelon juice. *International Journal of Food Properties*, 11(2), 439-449.
- Shotipruk, A., Kaufman, P.B. & Wang, H.Y., (2001). Feasibility study of repeated harvesting of menthol from biologically viable menthaxpiperata using ultrasonic extraction. *Biotechnology Progress*, 17(5), 924-928.
- Vadivambal, R. & Jayas, D.S., (2007). Changes in quality of microwave-treated agricultural products—a review. *Biosystems Engineering*, 98(1), 1-16.
- Wani, A.A., Kaur, D., Ahmed, I. & Sogi, D.S., (2008). Extraction optimization of watermelon seed protein using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 41(8), 1514-1520.
- Wibowo, S., Vervoort, L., Tomic, J., Santiago, J.S., Lemmens, L., Panozzo, A., Grauwet, T., Hendrickx, M. & Van Loey, A., (2015). Colour and carotenoid changes of pasteurised orange juice during storage. *Food Chemistry*, 171, 330-340.
- Yilmaz, F. M., & Ersus Bilek, S. (2017). Natural colorant enrichment of apple tissue with black carrot concentrate using vacuum impregnation. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 1508-1516.