

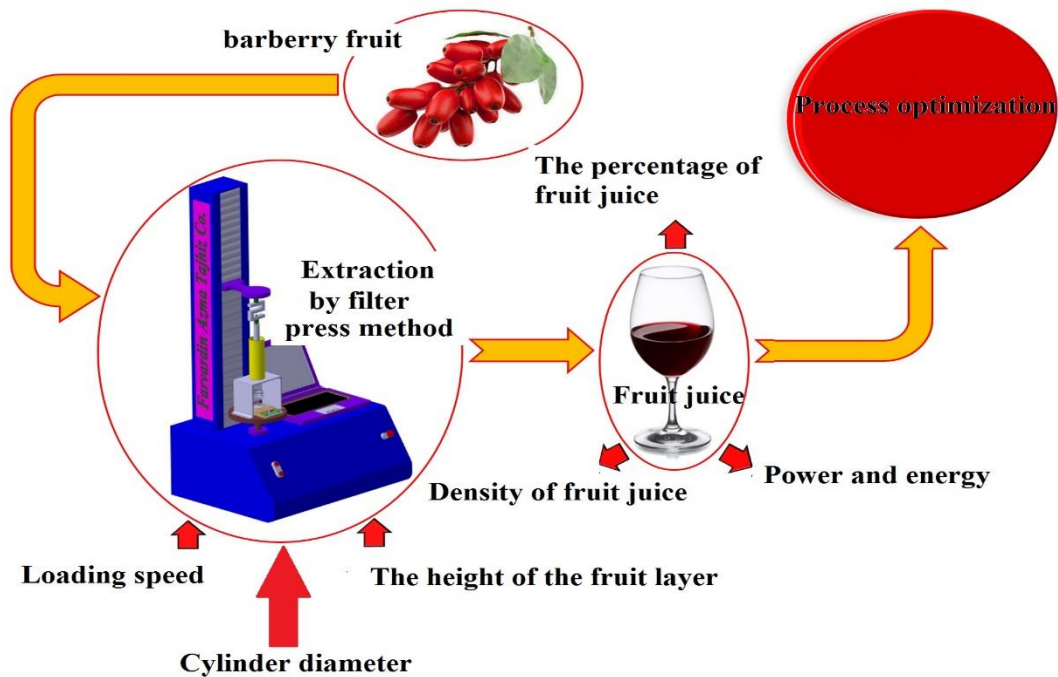
Extraction of Barberry Juice Based on the Filter Press Method: Study and Optimization of Some Influential Factors Based on Response Surface Methodology (RSM)

JAVAD TARIGHI^{1*}, ALI HAJIAHMAD²

Department of Biosystem Engineering, Faculty of agricultural Engineering,
University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agricultural Engineering,
University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Jan. 17, 2022- Revised: Feb. 18, 2022- Accepted: May 9, 2022)



ABSTRACT: Barberry fruit is a native plant of Iran and belongs to the Berberidaceae family and is available in different species and colors. Iran is the first producer of barberry in the world. The eating fresh barberry fruits is limited due to spoilable, and the production of barberry-based products is one of the important methods for reducing the waste of this fruit. Fruit juice production is one of the efficient methods in reducing agricultural waste. The filter press method is known as one of the common and effective methods for the juice extraction. In the present study, the effects of the layer height (at five levels of 15, 30, 45, 60 and 75 mm), cylinder diameter (at five levels of 40, 45, 50, 55 and 60 mm), and loading rate (at five levels 6, 12, 18, 24 and 30 mm/min) on the percentage of extracted juice from barberry, juice density, moisture content of pomace, final pomace porosity, specific energy consumption, and power consumption were studied and optimized. The results showed that the change in input variables resulted in changes in the percentage of extracted juice in the range of 33.9 to 51.8%, the juice density in the range of 1013.7 to 1047.2 kg/m³, the final pomace porosity in the range of 2.6 to 12.8%, and moisture content of pomace in the range of 19 to 41%. The results are suitable for optimizing the barberry water extraction process, using axial pressure devices and can be used to determine the optimal operating conditions of the juice making devices.

Keywords: Cylinder diameter, Layer height, Loading rate, Capacity index, Specific energy.

استخراج آب از میوه زرشک به روش فیلتر پرس: مطالعه و بهینه‌سازی برخی از عوامل مؤثر به روش سطح پاسخ

جواد طریقی^{۱*}، علی حاجی احمد^۲

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۱. گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی و

فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹ - تاریخ تصویب:

۱۴۰۱/۲/۱۹)

چکیده: میوه زرشک از گیاهان بومی ایران و متعلق به خانواده Berberidaceae بوده و در گونه‌ها و رنگ‌های مختلف وجود دارد. ایران بزرگ‌ترین تولیدکننده زرشک در جهان است. مصرف تازه خوری زرشک به علت فسادپذیری زیاد، محدود بوده و تولید فراورده‌های بر پایه زرشک از جمله روش‌های مهم در کاهش ضایعات این محصول است. تولید آب‌میوه یکی از روش‌های کارآمد در زمینه کاهش ضایعات محصولات کشاورزی است. روش فیلتر پرس به‌عنوان یکی از روش‌های رایج و مؤثر جهت استحصال آب‌میوه شناخته می‌شود. در پژوهش حاضر، اثرات ارتفاع لایه محصول (در پنج سطح ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ میلی‌متر)، قطر سیلندر (در پنج سطح ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ میلی‌متر) و سرعت بارگذاری (در پنج سطح ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه) بر درصد آب‌میوه استخراج شده از زرشک، چگالی آب‌میوه، رطوبت نسبی تفاله، تخلخل نهایی تفاله، مقدار انرژی ویژه مصرفی و توان مصرفی مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تغییر متغیرهای ورودی می‌تواند منجر به تغییرات درصد آب‌میوه استخراج شده از زرشک در محدوده ۳۳/۹ تا ۵۱/۹ درصد، چگالی آب‌میوه در محدوده ۱۰۱۳/۷ تا ۱۰۴۷/۲ کیلوگرم بر مترمکعب، تخلخل نهایی تفاله در محدوده ۲/۶ تا ۱۲/۸ درصد و رطوبت نسبی تفاله در محدوده ۱۹ تا ۴۱ درصد شود. نتایج به دست آمده برای بهینه‌سازی فرآیند استخراج آب زرشک با استفاده از دستگاه‌های فشار محوری مناسب بوده و می‌تواند در تعیین شرایط بهینه کارکرد دستگاه آب‌میوه‌گیری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: قطر سیلندر، ارتفاع لایه، سرعت بارگذاری، شاخص ظرفیت، انرژی ویژه.

مقدمه

میوه زرشک گیاهی است از خانواده Berberidaceae که از گیاهان بومی ایران بوده و در گونه‌ها و رنگ‌های مختلف وجود دارد (Alavi & Mazlounzadeh, 2012; Imenshahidi & Hosseinzadeh, 2019). زرشک درختچه‌ای با ارتفاع یک سه متر است که میوه آن قرمز رنگ، بیضوی شکل و ترش مزه بوده و گلدهی آن اواخر بهار و اوایل تابستان صورت می‌گیرد (Eroğlu *et al.*, 2020; Gundogdu, 2013; Talebi *et al.*, 2020). زرشک خراسانی بومی ایران است ولی گونه‌های زرافشانی و ززالکی نیز در مناطقی از ایران نیز رویش می‌یابند (Kaf *et al.*, 2002).

تاکنون خواص درمانی بسیاری از گونه‌های مختلف این میوه شناخته شده است. خواص ضد آریتمی و آرام‌بخشی (Fatehi *et al.*, 2005; Rahimi-Madiseh *et al.*, 2017)، درمان دیابت (Lazavi *et al.*, 2018)، فشارخون (Emamat *et al.*, 2020)، و بیماری‌های کلیوی، گوارشی، کبدی و ادراری (Safari *et al.*, 2010; Safari *et al.*, 2020) از جمله مهم‌ترین خواص دارویی زرشک هستند. میوه زرشک دارای آلکالوئیدی به نام بربرین^۱ است که به‌عنوان ضد التهاب و آنتی‌اکسیدان شناخته می‌شود. بربرین موجود در گیاه زرشک خاصیت از بین بردگی رادیکال‌های آزاد را دارد و می‌تواند نقش مهمی در کاهش استرس اکسیداتیو ایفا کند (Imenshahidi & Hosseinzadeh, 2016). علاوه بر بربرین، زرشک حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دیگری نظیر آلفا توکوفرول، اسید آسکوربیک و بتاکاروتن می‌باشد (Imenshahidi & Hosseinzadeh, 2016). در کتب طب سنتی از این گیاه به‌عنوان صفرابر، مقوی قلب و کبد، ضدالتهاب و ضد تومور یاد شده است (Asemani *et al.*, 2018). گزارش شده است که میوه زرشک احتمالاً از طریق تعدیل آنزیم‌های سم‌زدایی

کننده و فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی، باعث بهبود آسیب‌های کبدی ناشی از دیابت ملیتوس^۲ می‌شود (Ashraf *et al.*, 2013).

این میوه، علاوه بر کاربردهای دارویی دارای کاربردهای مختلف غذایی نیز می‌باشد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به استفاده از آن به‌عنوان چاشنی غذا، تولید پاستیل، کنسانتره، آب‌میوه، نوشابه، مربا، پودر و شربت زرشک اشاره نمود (Golmoha *adi* & Motamed, 2012; Hassanpour & Alizadeh, 2016; Valipour *et al.*, 2012). شربت زرشک به دلیل طعم مطلوب و خواص تغذیه‌ای مناسب نظیر میزان بالای ویتامین C به‌عنوان یک نوشیدنی پرمصرف شناخته می‌شود و دارای مصارف صنعتی زیادی است (Javadzadeh & Ebrahimi, 2013).

نگاه جهانی به زرشک در درجه اول یک گیاه دارویی است که دارای پتانسیل استخراج مواد مؤثره است و نگاه دوم یک گیاه زینتی است. هیچ کشوری به جز هندوستان در دنیا به زرشک یک دیدگاه صنعتی کامل ندارد (Harati *et al.*, 2017). اما تهیه فراورده‌های متنوع نظیر مربا، مارمالاد، آب‌میوه، نوشابه، پاستیل، سس، ژله از زرشک، گامی مهم در جذب تولید مازاد بر مصرف و ایجاد ارزش افزوده است (Mirzabe *et al.*, 2021).

از جمله فراورده‌های جدید میوه‌ها، پاستیل میوه‌ای است که ضمن بالا بودن ارزش تغذیه‌ای به دلیل کاهش فعالیت آب، زمان ماندگاری بالایی دارد. پاستیل میوه‌ای فراورده‌ای است که پایه اصلی آن پوره میوه، هیدروکلوئیدها و ترکیبات شیرین‌کننده می‌باشد. این فراورده را می‌توان از میوه‌های مازاد بر مصرف نیز تهیه نمود. تولید چنین فراورده‌ای در مقیاس تجاری منجر به جلوگیری از ضایعات میوه می‌شود. همچنین، به دلیل طبیعی بودن و ارزش غذایی بالا، زمان ماندگاری بالا،

نمی‌تواند به درستی سطح گلوکز خون را تنظیم کند.

^۱ Berberin

^۲ دیابت ملیتوس یا دیابت شیرین نوعی بیماری است که در صورت ابتلا به آن، بدن

طعم مطلوب، می‌تواند مورد توجه قشر وسیعی از جامعه قرار گیرد (Harati Farzagli *et al.*, 2017). در کشورهای در حال توسعه نقش و اهمیت کشاورزی در فرآیند توسعه اقتصادی از جهات گوناگون حائز اهمیت است. به‌ویژه آن‌که امکانات بالقوه موجود در این بخش موجب شده که بخش کشاورزی بتواند از طرق مختلف نقش اساسی و محوری خود را در توسعه اجتماعی- اقتصادی ایفا کند. زرشک محصولی مقاوم به کم‌آبی و خشکی و در عین حال با ارزش اقتصادی بالا است. با توجه به خواص درمانی شگفت‌انگیز زرشک و اینکه بخش اعظم تولید جهانی زرشک در ایران انجام می‌گیرد، فروش فراورده‌های آن می‌تواند موجب ارزآوری گردد. با توجه به اینکه در سایر کشورها مصرف تازه خوری زرشک چندان مرسوم نمی‌باشد، تولید فراورده‌های بر پایه زرشک می‌تواند مد نظر قرار گیرند. جهت تولید فراورده‌های زرشک اولین گام استحصال آب زرشک می‌باشد (Mirzabe *et al.*, 2021). استفاده از دستگاه‌های مکانیزه منطبق بر اصول و موازین بهداشتی جهت آبیگری میوه می‌تواند گامی در راستای ایجاد امکان فروش این فراورده‌ها در بازار جهانی باشد.

در حال حاضر دستگاه مخصوص آبیگری زرشک وجود ندارد و دستگاه‌های موجود که برای آبیگری زرشک مورد استفاده قرار می‌گیرند، دستگاه‌هایی چندمنظوره هستند. اغلب دستگاه‌های چندمنظوره نه‌تنها عملکرد بهینه را برای آبیگری زرشک ارائه نمی‌دهند بلکه این دستگاه‌ها معمولاً منطبق بر اصول بهداشتی هم نیستند (Mirzabe *et al.*, 2021). تاکنون بسیاری از محققان در زمینه طراحی و بهینه‌سازی دستگاه‌های آب‌میوه‌گیری برای میوه‌ها و محصولات کشاورزی مختلف کار کرده‌اند. عمده تمرکز محققان بر طراحی، ساخته و ارزیابی دستگاه‌های استخراج آب مرکبات بوده است (Bhalekar, 2019; Khazae *et al.*, 2018; Michael *et al.*, 2018; Odewole *et al.*, 2018; Martins & Adeyemi, 2018). روش‌های

مختلفی برای آبیگری انواع میوه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. بعضی از روش‌های موفق در استخراج آب از بافت گیاهی شامل دستگاه‌های پرس غلته‌ای (Dinesha *et al.*, 2019)، دستگاه ماریچ دوار (Formato *et al.*, 2019) و پرس هیدرولیکی (Wilczyński *et al.*, 2019) و پرس مکانیکی (De Pasquale *et al.*, 2017) هستند. یکی از روش‌های موفق در استخراج آب از بافت گیاهی روش فیلتر پرس است. استفاده از روش فیلتر پرس برای آبیگری محصولات مختلف گزارش شده و در همه موارد، نتایج کاملاً رضایت‌بخش بوده است (Latif *et al.*, 2020; Moreira *et al.*, 2021; Mushtaq, 2018; Pei *et al.*, 2018; Rao & Cooley, 1992; Sreedevi & Rao, 2018). با توجه به کارایی روش فیلتر پرس در آبیگری میوه‌ها و فقدان دستگاه مخصوص آبیگری زرشک، این مطالعه به منظور بررسی و بهینه‌سازی برخی از عوامل تأثیرگذار در روش فیلتر پرس بر میزان آب استخراج شده از زرشک انجام شده است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

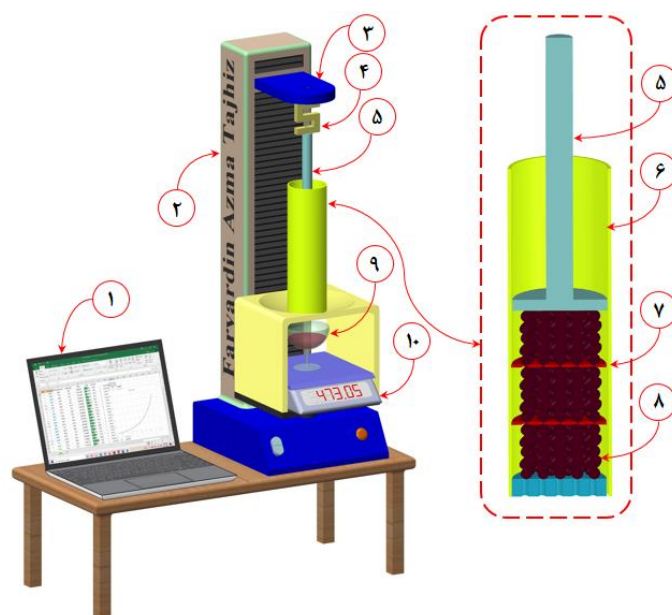
به منظور انجام آزمایش‌ها ابتدا مقدار مورد نیاز میوه (حدود ۱۴ کیلوگرم) از بازار محلی شهرستان کرج خریداری و به آزمایشگاه منتقل شد. میوه‌ها تا زمان آزمایش در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده شدند. میزان رطوبت میوه‌ها بر اساس روش استاندارد آون هوای گرم در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد.

نحوه انجام آزمایش‌ها

مقادیر چگالی توده و چگالی واقعی میوه‌های قبل از شروع فرایند آبیگری، بر مبنای روش‌های ظرف استوانه‌ای با ابعاد استاندارد و پیکنومتر اندازه‌گیری شدند (Mirzabe *et al.*, 2021). با معلوم بودن چگالی توده و واقعی، تخلخل اولیه میوه‌ها محاسبه شد. کلیه آزمایش‌ها

انتهای بالای پیستون و فک بالایی (فک متحرک) دستگاه آزمون چندمنظوره ثبت شد. در روش‌های سنتی، یکی از عملیاتی که برای افزایش مقدار آب استخراج شده از بافت میوه‌ها انجام می‌شود، قرار دادن لایه‌های صلب بین توده میوه است. بنابراین، در این مطالعه برای هریک از سیلندرها از دو صفحه فولادی سوراخ‌دار با ضخامت دو میلی‌متر استفاده شد. قطر صفحات فولادی برابر با قطر داخلی سیلندرها بود. قطر سوراخ‌ها و شبکه‌بندی آن‌ها مشابه کف سیلندر بود. طرح‌واره سامانه مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. استفاده از دو صفحه فولادی در بین توده محصول منجر به ایجاد سه لایه از محصول در هر آزمایش گردید.

در سه روز متوالی (هشتم، نهم و دهم شهریور ۱۴۰۰) انجام شدند. از دستگاه آزمون چندمنظوره مقاومت مصالح (Hi-500-SE، فروردین آزما تجهیز، ایران) برای ایجاد تنش لازم برای آگیری زرشک استفاده شد. از پنج سیلندر با ارتفاع ۲۵۰ میلی‌متر ساخته شده از فولاد ضدزنگ با قطر داخلی ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ میلی‌متر استفاده شده است. سوراخ‌هایی به قطر ۲ میلی‌متر و فواصل ۶ میلی‌متر در درپوش پایینی سیلندر توسط ماشین لیزر CNC ایجاد شده تا امکان تخلیه آب‌میوه فراهم شود. فشار ایجاد شده توسط دستگاه آزمون چندمنظوره مقاومت مصالح با استفاده از پیستون‌هایی به قطر ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ میلی‌متر (هر پیستون برای یک سیلندر با قطر متناسب استفاده شد) به میوه‌ها وارد شد. اطلاعات نیرو و جابجایی به‌طور هم‌زمان توسط لودسل ۵۰۰ کیلوگرمی (نوع S، زمیک، چین) متصل به



شکل ۱- طرح‌واره سامانه استخراج آب زرشک به روش فیلتر پرس (۱) لپ‌تاپ، (۲) دستگاه آزمون چندمنظوره مقاومت مصالح، (۳) فک بالایی، (۴) لودسل، (۵) پیستون، (۶) سیلندر، (۷) صفحات صلب، (۸) توده میوه، (۹) ظرف جمع‌آوری آب‌میوه، (۱۰) ترازوی دیجیتال

Figure 1- Scheme of the barberry water extraction system by filter press method 1) Laptop, 2) Multipurpose material-strength test machine, 3) Upper jaw, 4) Load cell, 5) Piston, 6) Cylinder, 7) Hard plates, 8) Fruit mass 9) Juice collection container, 10) Digital scale

متفاوت بودن قطر سیلندرها، به‌منظور یکسان‌سازی تنش بیشینه وارد بر توده میوه‌ها، نیروی بیشینه وارده در هر سیلندر دارای پنج سطح بود. در سیلندرها با قطر داخلی ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ میلی‌متر، نیروی بیشینه

سه متغیر قطر سیلندر، ارتفاع لایه محصول، و سرعت بارگذاری به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. ارتفاع لایه‌ها در پنج سطح ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته شدند. با توجه به

موجود در تفاله، چگالی واقعی تفاله محاسبه شد. در نهایت با معلوم بودن چگالی توده و چگالی واقعی تفاله، مقدار تخلخل نهایی تفاله محاسبه گردید.

ملاحظات تئوری

مدل سازی رفتار نیرو-جابجایی توده میوه‌ها در طی بارگذاری فشاری را می‌توان با استفاده از توابع نمایی انجام داد (Mirzabe *et al.*, 2021) به منظور مدل سازی رفتار توده میوه زرشک در بارگذاری فشاری از یک تابع نمایی با دو ضریب ثابت استفاده شد. تابع نمایی مورد استفاده در معادله ۱ نشان داده شده است.

$$F(\delta) = a(\exp(b\delta) - 1) \quad (\text{رابطه ۱})$$

با شروع حرکت رو به پایین پیستون، بخش عمده‌ای از میوه‌ها فشرده می‌شوند. با توجه به گسیختگی پوست میوه، آب داخل بافت میوه خارج شده و جریان می‌یابد. زمانی که در آن اولین قطره آب میوه ظاهر می‌شود را نقطه آب میوه^۱ می‌نامند. پس از نقطه آب میوه، میزان تولید آب میوه دارای روند افزایشی-کاهشی است. بنابراین، توابع مانند تانژانت معکوس یا تانژانت هیپربولیک می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (Mirzabe *et al.*, 2021). در این مطالعه، مدل سازی جرم لحظه‌ای آب میوه استخراج شده با الهام از عملکرد توزیع نرمال انجام شد (Tsarouhas & Arvanitoyannis, 2010) (2011). با این وجود، لازم بود تغییراتی در قالب مدل توزیع نرمال ایجاد شود. قالب ریاضی که برای مدل سازی جرم لحظه‌ای آب میوه استخراج شده مورد استفاده قرار گرفت، به شکل معادله ۲ بود.

(رابطه ۲)

$$m_J(t)_{t>T_J} = M_J \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t - T_J}{\alpha} \right)^2 \right] \right\}$$

با در اختیار داشتن جرم لحظه‌ای آب میوه استخراج شده، طبق معادله ۳، درصد لحظه‌ای آب میوه استخراج شده محاسبه شد.

به ترتیب برابر با ۲۵۱۳، ۳۱۸۰، ۳۹۲۷، ۴۷۵۱ و ۵۶۵۴ نیوتون بود.

سطوح سرعت بارگذاری ۶، ۱۲، ۱، ۲۴ و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شدند. سطوح سرعت بارگذاری معادل ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه هستند.

با توجه به معلوم بودن قطر داخلی سیلندرها و نیز چگالی توده میوه، جهت ایجاد لایه‌هایی با ارتفاع معلوم، جرم مورد نیاز از میوه اندازه‌گیری و به هر لایه اختصاص داده شد. پس از روشن کردن دستگاه آزمون چندمنظوره، داده‌های نیرو و تغییر شکل مربوطه در طول زمان آزمون با نرخ ۱۰ هرتز ثبت شدند. تمام آزمایش‌ها تا رسیدن به نیروی موردنظر ادامه یافت. همچنین به‌جای تمام کردن آزمایش‌ها در نقطه رسیدن به نیروی بیشینه، به منظور ایجاد فرصت لازم برای خروج آب میوه از لابه‌لای توده محصول، آزمایش‌ها تا رسیدن به نصف نیروی بیشینه در مرحله آسایش تنش ادامه پیدا کرد. در طی مدت‌زمان هر آزمون، مقدار آب میوه استخراج شده با استفاده از ترازوی قابل اتصال به رایانه به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری شد. با مشخص بودن جرم اولیه میوه، درصد جرمی آب میوه استحصال محاسبه شد. پس از انجام هر آزمون، تفاله باقیمانده در سیلندر جمع‌آوری و وزن آن اندازه‌گیری شد. با معلوم بودن مقدار جابجایی پیستون و ارتفاع اولیه لایه‌ها حجم نهایی تفاله محاسبه شد. لذا با معلوم بودن جرم و حجم تفاله، مقدار چگالی توده تفاله مورد محاسبه قرار گرفت. همچنین تفاله ناشی از هریک از آزمایش‌ها در آن قرار داده شد و درصد رطوبت آن بر مبنای وزن تر مورد محاسبه قرار گرفت. پس از خشک شدن نمونه‌های تفاله، جرم ماده خشک اندازه‌گیری و چگالی واقعی ماده خشک به روش پیکنومتر محاسبه گردید. با معلوم بودن جرم ماده خشک، چگالی ماده خشک، جرم و حجم آب

(رابطه ۳)

$$j_P(t)_{t>T_J} = j_P \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t - T_J}{\alpha} \right)^2 \right] \right\}$$

تخلخل لحظه‌ای یکی از عوامل مؤثر در استخراج آب‌میوه در روش فیلتر پرس است. به‌منظور محاسبه دقیق تنش وارد بر توده میوه‌ها، لازم است که تخلخل لحظه‌ای محاسبه شود. تغییرات تخلخل در فرآیند استخراج آب‌میوه می‌تواند در قالب سه مرحله در نظر گرفته شود. در مرحله اول، با توجه به حرکت رو به پایین پیستون، تخلخل کاهش یافت. در این مرحله، آب‌میوه هنوز استخراج نشده است. کاهش تخلخل در این مرحله به دلیل خروج هوا است. برای محاسبه تخلخل لحظه‌ای قبل از نقطه آب‌میوه می‌توان از معادله ۴ استفاده کرد.

(رابطه ۴)

$$P(t)_{0<t<T_J} = 100 \left[1 - \frac{\rho_b(t)}{\rho_p(t)} \right] = 100 \left[1 - \frac{10^6 M_i}{\rho_{p,i} (V_i - A_0 R_L t)} \right]$$

در معادله ۴، ضریب ثابت 10^6 به‌منظور همسان‌سازی واحدها به معادله اضافه شد. مرحله دوم پس از نقطه آب‌میوه شروع می‌شود. در مرحله دوم، علاوه بر خروج هوا، آب‌میوه نیز از توده میوه‌ها خارج می‌شود. بنابراین، با اطلاع از جرم آب‌میوه لحظه‌ای و سرعت بارگذاری، حجم هوا خروجی و تخلخل لحظه‌ای را می‌توان محاسبه کرد. با استفاده از معادله ۵ تخلخل لحظه‌ای پس از نقطه آب‌میوه و قبل از پایان مرحله بارگذاری محاسبه شد.

(رابطه ۵)

$$P(t)_{T_J<t<T_L} = 100 \left[1 - \frac{\frac{M_i - m_J(t)}{V_i - A_0 R_L t}}{10^6 \left(\frac{M_i}{\rho_{p,i}} - \frac{m_J(t)}{\rho_J} \right)} \right] = 100 \left[1 - \frac{10^6 M_i}{\rho_{p,i} A_0 (3H - R_L t)} + \frac{10^6 m_J(t)}{\rho_J A_0 (3H - R_L t)} \right]$$

مرحله سوم پس از اتمام مرحله بارگذاری شروع می‌شود. این مرحله در واقع در مدت‌زمان آسایش تنش اتفاق می‌افتد. در مرحله سوم، حرکت رو به پایین

پیستون و در نتیجه، خروج هوا نمونه متوقف شده است. با این وجود، خروج آب از نمونه ادامه دارد. در مرحله سوم، برخلاف دو مرحله قبلی، تخلخل لحظه‌ای در طول زمان افزایش می‌یابد. بنابراین، با اطلاع از جرم لحظه‌ای آب‌میوه استخراج شده، محاسبه تخلخل لحظه‌ای بر اساس معادله ۶ صورت گرفت.

(رابطه ۶)

$$P(t)_{T_L<t<T_L+T_R} = 100 \left[1 - \frac{\frac{M_i - m_J(t)}{V_i}}{\frac{M_i - m_J(t)}{10^6 \left(\frac{M_i}{\rho_{p,i}} - \frac{m_J(t)}{\rho_J} \right)}} \right] = 100 \left[1 - \frac{10^6 M_i}{3 \rho_{p,i} A_0 H} + \frac{10^6 m_J(t)}{3 \rho_J A_0 H} \right]$$

بهینه‌سازی فرایند استخراج آب‌میوه

برای بهینه‌سازی سینتیک فرآیند استخراج آب‌میوه، درصد آب‌میوه استخراج شده، شاخص ظرفیت، انرژی مصرفی ویژه و متوسط توان مورد نیاز به‌عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شدند. درصد آب‌میوه استخراج شده با تقسیم جرم آب‌میوه بر جرم اولیه میوه‌ها محاسبه شد. بر اساس معادله ۷، حاصل ضرب سه متغیر ورودی مستقل به‌عنوان شاخص ظرفیت تعریف شد. هدف از تعریف شاخص ظرفیت، افزایش کارایی دستگاه نسبت به زمان آزمون بود. با افزایش قطر سیلندر و ارتفاع لایه‌ها، مقدار بیشتری از میوه را می‌توان به درون سیلندر ریخت و در نتیجه تعداد دفعات مورد نیاز برای پر کردن سیلندر به ازای جرم معینی از میوه کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت بارگذاری، زمان آزمون کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش شاخص ظرفیت مطلوب است.

$$\omega = \frac{\pi}{4} D_C^2 H R_L \quad (\text{رابطه ۷})$$

همچنین سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی به‌عنوان انرژی مصرف شده یا انرژی جذب شده توسط میوه در نظر گرفته شد. با توجه به مقدار انرژی و آب‌میوه استحصال شده، انرژی ویژه طبق رابطه ۱ مورد محاسبه قرار گرفت (Mirzabe et al., 2021). طبق معادله ۹، میانگین توان مورد نیاز با تقسیم کردن انرژی مصرفی بر

زمان آزمون به دست آمد.

$$E_{Sp} = \frac{E_C}{J_P} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$P_M = \frac{E_C}{T_T} \quad (\text{رابطه ۹})$$

بهینه‌سازی سینتیک فرآیند استخراج آب‌میوه بر مبنای بیشینه شدن درصد آب‌میوه استخراج شده، بیشینه شدن شاخص ظرفیت، کمینه شدن انرژی مصرفی ویژه و کمینه شدن متوسط توان مورد نیاز صورت گرفت. درجه اهمیت درصد آب‌میوه استخراج

شده برابر با ۴، شاخص ظرفیت برابر با ۲، انرژی مصرفی ویژه برابر با ۲، و متوسط توان برابر با ۱ در نظر گرفته شد. پس از انجام بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار، سه نقطه از مجموع نقاط پیشنهادی نرم‌افزار انتخاب شده و با انجام آزمایش‌های عملی، نسبت به صحت سنجی پیش‌بینی انجام شده توسط نرم‌افزار اقدام شد. درجه مطلوبیت بر اساس معادله ۱۰ مورد محاسبه قرار گرفت (Amdoun et al., 2018; Corzo & Gomez, 2004).

$$\xi = \left[\left(\frac{J_{P-max} - J_{P-min}}{J_{P-max} - J_{P-min}} \right)^{I_J} \left(\frac{\omega_{P-max} - \omega_{P-min}}{\omega_{P-max} - \omega_{P-min}} \right)^{I_\omega} \left(\frac{E_{Sp-max} - E_{Sp-P}}{E_{Sp-max} - E_{Sp-min}} \right)^{I_E} \left(\frac{P_{M-max} - P_{M-P}}{P_{M-max} - P_{M-min}} \right)^{I_P} \right]^{\left(\frac{1}{\sum I} \right)} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

تحلیل آماری

با توجه به انتخاب سه متغیر ورودی مستقل و انتخاب پنج سطح تغییرات برای هر یک از متغیرها، تعداد آزمون‌های لازم برای انجام یک طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی برابر با ۱۲۵ بود. از طرفی با توجه به هزینه‌بر و زمان‌بر بودن آزمایش‌ها، پیاده‌سازی یک طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی امکان‌پذیر نبود. لذا از روش سطح پاسخ^۱ و طرح مرکب مرکزی (CCD: Central Composite Design) با ۵ تکرار در نقطه مرکزی استفاده گردید. تعداد آزمایش‌های لازم برای اجرای این طرح برابر با ۲۰ بود. اما به منظور افزایش دقت ۲۰ آزمایش اضافی هم به طرح اضافه شد. در نهایت آزمایش‌ها در قالب یک طرح CCD با ۲۰ نقطه اضافی انجام شد (تعداد کل آزمون‌ها برابر با ۴۰ بود). سطوح متغیرهای مستقل (قطر سیلندر، ارتفاع لایه و سرعت بارگذاری) در آزمایش‌های ۴۰ گانه در جدول ۱ ارائه شده است.

کمک نرم‌افزار 11 Design Expert صورت گرفت. به منظور انجام آنالیز واریانس از مدل خطی با اثرات متقابل دوعاملی (Two-factor Interaction) با فرمت ارائه شده در معادله ۱۱ استفاده شد.

(رابطه ۱۱)

$$Response = (a_1 + a_2 D_C + a_3 H + a_4 L_R + a_5 D_C H + a_6 D_C L_R + a_7 H L_R)^\beta$$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقدار آب‌میوه استخراج شده و چگالی آب‌میوه استخراج شده در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مدل‌های خطی با اثرات متقابل دوعاملی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار هستند. همچنین برای هر دو متغیر وابسته، کلیه متغیرهای مستقل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. برای مدل خطی مقدار آب‌میوه استخراج شده، مقادیر انحراف معیار، ضریب تبیین، ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۲/۲ درصد، ۰/۹ و ۳ درصد به دست آمدند. مقادیر مذکور برای چگالی آب‌میوه استخراج شده به ترتیب برابر با ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب، ۰/۷ و ۰/۹ درصد به دست آمدند. لذا می‌توان گفت مدل‌ها توانایی مطلوبی در برازش داده‌ها داشته‌اند.

به منظور مدل‌سازی رفتار نیرو-جابجایی در مرحله بارگذاری و نیز رفتار جرم لحظه‌ای آب‌میوه از نرم‌افزار MATLAB-R2014b استفاده شد. همچنین بهینه‌سازی، آنالیز واریانس، و پیاده‌سازی طرح CCD به

بیشینه، کمینه و متوسط چگالی آبمیوه استخراج شده به ترتیب برابر با ۱۰۴۷/۲، ۱۰۱۳/۷ و ۱۰۱۵/۶ کیلوگرم بر مترمکعب بودند.

مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط درصد آبمیوه استخراج شده به ترتیب برابر با ۵۱/۸ درصد (مربوط به آزمایش شماره ۳۱ در جدول ۱)، ۳۳/۸ درصد (مربوط به آزمایش شماره ۶ در جدول ۱) و ۳۷/۳ درصد بودند. مقادیر

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل (قطر سیلندر، ارتفاع لایه و سرعت بارگذاری) در آزمایش‌های ۴۰ گانه انجام شده در این مطالعه

Table 1- Levels of independent variables (cylinder diameter, layer height and loading speed) in the 40 performed experiments in this study

شماره آزمون	قطر سیلندر (میلی‌متر)	ارتفاع لایه (میلی‌متر)	سرعت بارگذاری (دقیقه/میلی‌متر)	شماره آزمون	قطر سیلندر (میلی‌متر)	ارتفاع لایه (میلی‌متر)	سرعت بارگذاری (دقیقه/میلی‌متر)
۱	۴۰	۱۵	۶	۲۱	۵۰	۴۵	۱۸
۲	۴۰	۱۵	۱۸	۲۲	۵۰	۴۵	۱۸
۳	۴۰	۱۵	۳۰	۲۳	۵۰	۴۵	۱۸
۴	۴۰	۴۵	۶	۲۴	۵۰	۴۵	۳۰
۵	۴۰	۴۵	۳۰	۲۵	۵۰	۷۵	۶
۶	۴۰	۴۵	۳۰	۲۶	۵۰	۷۵	۶
۷	۴۰	۷۵	۶	۲۷	۵۰	۷۵	۳۰
۸	۴۰	۷۵	۱۸	۲۸	۵۰	۷۵	۳۰
۹	۴۰	۷۵	۱۸	۲۹	۵۵	۳۰	۱۲
۱۰	۴۰	۷۵	۳۰	۳۰	۵۵	۶۰	۲۴
۱۱	۴۵	۳۰	۱۲	۳۱	۶۰	۱۵	۶
۱۲	۴۵	۳۰	۲۴	۳۲	۶۰	۱۵	۱۸
۱۳	۴۵	۶۰	۱۲	۳۳	۶۰	۱۵	۳۰
۱۴	۵۰	۱۵	۶	۳۴	۶۰	۱۵	۳۰
۱۵	۵۰	۱۵	۱۸	۳۵	۶۰	۴۵	۶
۱۶	۵۰	۱۵	۳۰	۳۶	۶۰	۴۵	۱۸
۱۷	۵۰	۴۵	۶	۳۷	۶۰	۴۵	۳۰
۱۸	۵۰	۴۵	۱۸	۳۸	۶۰	۷۵	۶
۱۹	۵۰	۴۵	۱۸	۳۹	۶۰	۷۵	۱۸
۲۰	۵۰	۴۵	۱۸	۴۰	۶۰	۷۵	۳۰

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مقدار و چگالی آبمیوه استخراج شده از میوه زرشک به روش فیلتر پرس

Table 2- Results of the analysis of variance of amount and density of juice extracted from barberry fruit by filter press method

منابع تغییرات	درجه آزادی	آبمیوه استحصال شده (درصد)		چگالی آبمیوه استحصالی (kg.m ⁻³)	
		میانگین	آماره F	میانگین	آماره F
مدل	۶	۷/۹E-۸	۱۵۶/۹	۱E-۲۱	۱۳/۲
قطر سیلندر (A)	۱	۵/۵E-۸	۱۰۹/۴	۷E-۲۲	۸/۶
ارتفاع لایه (B)	۱	۲/۳E-۷	۴۶۹/۸	۱/۶E-۲۱	۲۰/۴
سرعت بارگذاری (C)	۱	۱/۵E-۷	۳۰۵/۴	۱/۴E-۲۱	۱۸/۳
AB	۱	۹/۹E-۹	۱۹/۷	۹/۱E-۲۲	۱۱/۳
AC	۱	۳/۹E-۹	۶/۸	۶/۹E-۲۲	۸/۶
BC	۱	۳/۶E-۸	۷۲/۱	۱/۶E-۲۱	۲۰/۸
باقیمانده	۳۳	E-۱۰		۸/E-۲۳	

** و *: معنی‌داری به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، همچنین برای هر دو ضریب ثابت a و b، مدل‌های خطی با اثرات

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقادیر ضرایب ثابت a و b در معادله نیرو-جابجایی در جدول ۳ نشان داده

b در معادله نیرو-جابجایی به ترتیب برابر با ۱۱۸/۴ نیوتون و ۰/۰۲ بر میلی‌متر به‌دست آمدند. لازم به ذکر است که در هر یک از تیمارهای ۴۰ گانه، با توجه به محاسبه ضرایب ثابت a و b، مقدار ضریب تبیین مدل بیشتر از ۰/۹۸ و مقدار مجموع مربعات خطای مدل کمتر از ۹/۱ نیوتون به‌دست آمدند. بنابراین اگرچه مدل نیرو-جابجایی با فرمت ارائه شده در معادله (۱) یک مدل ساده است، این مدل توانایی بالایی در پیش‌بینی نیرو با توجه به جابجایی دارد.

متقابل دو عاملی و نیز کلیه متغیرهای مستقل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. برای ضریب ثابت a، مقادیر انحراف معیار، ضریب تبیین، ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۰/۰۲ نیوتون، ۰/۹ و ۸/۷ درصد به‌دست آمدند. برای ضریب ثابت b، مقادیر انحراف معیار، ضریب تبیین، ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۳/۲ بر میلی‌متر، ۰/۹ و ۱۱/۷ درصد به‌دست آمدند. مقادیر بیشینه ضرایب ثابت a و b در معادله نیرو-جابجایی به ترتیب برابر با ۳۰۶۴/۳ نیوتون و ۰/۱ بر میلی‌متر به‌دست آمدند. مقادیر کمینه ضرایب ثابت a و

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مقادیر ضرایب ثابت a و b در معادله نیرو-جابجایی (معادله ۱)

(Table 3- Results of the analysis of variance of constant coefficients a and b in the force-displacement equation (Equation 1)

ضریب b در معادله (۱)			ضریب a در معادله (۱)			درجه آزادی	منابع تغییرات
آماره p	آماره F	میانگین مربعات خطا	آماره p	آماره F	میانگین مربعات خطا		
<۰/۰۱**	۷۰/۲	۷۶۱/۱	<۰/۰۱**	۹۸/۵	۰/۰۰۰۴	۶	مدل
۰/۰۲*	۵/۶	۱۱۵/۶	<۰/۰۱**	۸۲/۲	۰/۰۰۰۳	۱	قطر سیلندر (A)
<۰/۰۱**	۳۲۷/۶	۳۵۵۱/۶	<۰/۰۱**	۱۱۸/۵	۰/۰۰۰۵	۱	ارتفاع لایه (B)
<۰/۰۱**	۲۸/۷	۳۱۱/۷	<۰/۰۱**	۲۲۱/۱	۰/۰۰۰۹	۱	سرعت بارگذاری (C)
<۰/۰۳*	۴/۶	۱۰۴/۹	<۰/۰۱**	۳۳/۷	۰/۰۰۰۱	۱	AB
<۰/۰۱**	۲۴/۶	۲۶۷/۴	<۰/۰۱**	۵۵/۹	۰/۰۰۰۲	۱	AC
<۰/۰۱**	۱۶/۲	۱۷۶	<۰/۰۱**	۷۴/۹	۰/۰۰۰۳	۱	BC
		۱۰/۸			۴/۳E-۶	۳۳	باقیمانده

** و * : معنی‌داری به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

مهم و کاربردی در صنایع روغن‌کشی است و به‌صورت لحظه‌ای که اولین قطره روغن از بافت توده‌ای از دانه‌های روغنی خارج می‌شود تعریف می‌شود. همین این تعریف در مورد لحظه‌ای که اولین قطره آب‌میوه از بافت توده از میوه‌ها خارج می‌شود به کار رفته و با عنوان لحظه شروع آبگیری شناخته می‌شود (Mirzabe et al., 2021). برای ضریب ثابت α در معادله (۲)، مقادیر مذکور به ترتیب برابر با ۰/۱ ثانیه، ۰/۹ و ۰/۹ درصد به‌دست آمدند. لازم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس لحظه شروع آبگیری و ضریب ثابت α در معادله (۲) در جدول ۴ ارائه شده است. برای هر دو متغیر لحظه شروع آبگیری و ضریب ثابت α ، مدل‌های خطی با اثرات متقابل دو عاملی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. همچنین، برای هر دو متغیر لحظه شروع آبگیری و ضریب ثابت α ، اثرات ارتفاع لایه و سرعت بارگذاری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. لحظه شروع استحصال روغن^۱ یک عامل

به دست آمدند. بنابراین اگرچه مدل ارائه شده برای پیش‌بینی جرم یا درصد آب‌میوه استحصال شده، معادلات (۲) و (۳)، یک مدل ساده است، این مدل از توانایی بالایی برخوردار است.

به ذکر است که در هر یک از تیمارهای ۴۰ گانه، با توجه به اندازه‌گیری لحظه شروع آبیگری و محاسبه ضریب ثابت α ، مقدار ضریب تبیین مدل بیشتر از ۰/۹ و مقدار مجموع مربعات خطای مدل کمتر از ۱/۲ درصد (یا گرم)

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس لحظه شروع آبیگری و ضریب α در معادله (۲)

Table 4- Results of analysis of variance of dewatering start moment and α coefficient in equation (2)

ضریب α در معادله (۲)			لحظه شروع آبیگری (ثانیه)			درجه	منابع تغییرات
آماره p	آماره F	میانگین مربعات خطا	آماره p	آماره F	میانگین مربعات خطا	آزادی	
<۰/۰۱**	۱۴۱/۱	۰/۰۲	<۰/۰۱**	۱۹۴/۷	۰/۰۰۰۸	۶	مدل
۰/۹	۰/۰۰۱	۲/۶E-۷	۰/۰۶	۳/۵	۱/۴E-۵	۱	قطر سیلندر (A)
<۰/۰۱**	۴۰۵/۶	۰/۰۶	<۰/۰۱**	۲۸۰/۸	۰/۰۰۱۲	۱	ارتفاع لایه (B)
<۰/۰۱**	۴۰۵/۱	۰/۰۶	<۰/۰۱**	۷۴۲/۹	۰/۰۰۳۱	۱	سرعت بارگذاری (C)
۰/۵	۰/۴	۶/۳E-۵	۰/۵	۰/۴۵	۱/۹E-۶	۱	AB
۰/۷	۰/۱۰	۱/۷E-۵	۰/۶	۰/۲	۹/۱E-۷	۱	AC
۰/۷	۰/۰۷	۱/۲E-۵	<۰/۰۱**	۹۷	۰/۰۰۰۴	۱	BC
		۰/۰۰۰۲			۴/۱E-۶	۳۳	باقیمانده

** : معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

همگی گویای توانایی بالای مدل‌های خطی با اثرات متقابل دو عاملی در برآزش داده‌ها است. مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط تخلخل تفاله به ترتیب برابر با ۱۲/۸ درصد (مربوط به آزمایش شماره ۶ در جدول ۱)، ۲/۵ درصد (مربوط به آزمایش شماره ۳۱ در جدول ۱) و ۱۰/۳ درصد بودند. مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط رطوبت نهایی تفاله به ترتیب برابر با ۴۱ درصد (مربوط به آزمایش شماره ۶ در جدول ۱)، ۱۹ درصد (مربوط به آزمایش شماره ۳۱ در جدول ۱) و ۳۷/۵ درصد بودند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس محتوای رطوبتی و تخلخل تفاله باقیمانده در جدول ۵ ارائه شده است. برای هر دو متغیر محتوای رطوبتی و تخلخل، اثرات قطر سیلندر، ارتفاع لایه و سرعت بارگذاری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. معنی‌دار شدن هر دو مدل در سطح احتمال ۱ درصد، به دست آمدن ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹ (۰/۹) برای تخلخل و ۰/۹ (برای محتوای رطوبتی) و به دست آمدن ضریب تغییرات کمتر از ۸ درصد (۵/۷) درصد برای تخلخل و ۷ درصد برای محتوای رطوبتی)

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس محتوای رطوبتی و تخلخل تفاله باقیمانده از میوه زرشک پس از اتمام فرایند استحصال آب‌میوه به روش فیلتر پرس

Table 5 - Results of analysis of variance of moisture content and porosity of the remaining pulp of barberry fruit after the fruit juice extraction process by filter press method

تخلخل تفاله (درصد)			محتوای رطوبتی تفاله (درصد)			درجه	منابع تغییرات
آماره p	آماره F	میانگین مربعات خطا	آماره p	آماره F	میانگین مربعات خطا	آزادی	
<۰/۰۱**	۱۵۹	۹۸۵۱/۴	<۰/۰۱**	۱۱۶	۱/۱E+۹	۶	مدل
<۰/۰۱**	۱۰۸	۶۶۸۹/۵	<۰/۰۱**	۷۹/۶	۷/۶E+۸	۱	قطر سیلندر (A)
<۰/۰۱**	۵۰۰/۱	۳۰۹۸۱/۱	<۰/۰۱**	۳۳	۳/۱E+۹	۱	ارتفاع لایه (B)
<۰/۰۱**	۳۱۲/۴	۱۹۳۴۹/۷	<۰/۰۱**	۲۲۱/۳	۲/۱E+۹	۱	سرعت بارگذاری (C)
۰/۰۳۱*	۵/۱	۶۳۰/۸	<۰/۰۱**	۲۲/۷	۲/۱E+۸	۱	AB
۰/۱	۲/۴	۱۵۱/۶	۰/۰۲*	۷/۵	۱E+۸	۱	AC
<۰/۰۱**	۵۰/۵	۳۱۳۳/۹	<۰/۰۱**	۷۲/۸	۷E+۸	۱	BC
		۶۱/۹			۹/۶E+۶	۳۳	باقیمانده

** و * : معنی‌داری به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

از ۵ درصد (۴/۷) درصد برای انرژی ویژه و ۲/۶ درصد (برای توان) و به دست آمدن انحراف از معیار کمتر از ۱ درصد گویای توانایی بالای مدل‌های خطی با اثرات متقابل دو عاملی در برآزش داده‌ها است. مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط انرژی ویژه به ترتیب برابر با ۱/۵، ۰/۸ و ۱ ژول بر گرم بودند. مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط توان به ترتیب برابر با ۰/۹۱ (مربوط به آزمایش شماره ۳۴ در جدول ۱)، ۰/۰۷ (مربوط به آزمایش شماره ۷ در جدول ۱) و ۰/۳۷ وات بودند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس انرژی ویژه و توان مصرفی در جدول ۶ ارائه شده است. برای هر دو متغیر انرژی ویژه و توان مصرفی، مدل‌های خطی با اثرات متقابل دو عاملی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. در حالی که اثرات هر سه متغیر مستقل بر تغییرات انرژی ویژه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند، اثر ارتفاع لایه بر تغییرات توان معنی‌دار نبود. به دست آمدن ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۷ (۰/۹۷) برای انرژی ویژه و ۰/۹۶ (برای توان)، به دست آمدن ضریب تغییرات کمتر

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس انرژی ویژه و توان مصرفی حین فرایند استحصال آب‌میوه از زرشک به روش فیلتر پرس

Table 6- Results of the analysis of variance of specific energy and power consumption during the process of extracting juice from barberry by filter press method

توان مصرفی (W)		انرژی ویژه مصرفی (J/g)				درجه آزادی	منابع تغییرات
آماره p	آماره F	میانگین مربعات خطا	آماره p	آماره F	میانگین مربعات خطا		
<۰/۰۱**	۸۳۴	+۵E۱/۲	<۰/۰۱**	۱۹۱/۵	۰/۴	۶	مدل
<۰/۰۱**	۱۵۱۰	+۵E۲/۲	<۰/۰۱**	۱۲۰/۸	۰/۳	۱	قطر سیلندر (A)
۰/۲	۱/۴	+۵E۴/۸	<۰/۰۱**	۱۰۷/۶	۰/۲	۱	ارتفاع لایه (B)
<۰/۰۱**	۳۳۳۲/۸	۲۰۵/۶	<۰/۰۱**	۶۳۷/۲	۱/۶	۱	سرعت بارگذاری (C)
<۰/۰۱**	۴۹۳/۶	+۴E۷/۲	<۰/۰۱**	۵۶/۳	۰/۱	۱	AB
۰/۰۲*	۶/۳	+۳E۱/۶	<۰/۰۱**	۱۷/۱	۰/۰۴	۱	AC
۰/۱	۲/۷	۳۹۶/۲	<۰/۰۱**	۲۶۵/۱	۰/۶	۱	BC
		۱۴۶/۲			۰/۰۰۲	۳۳	باقیمانده

** و * : معنی‌داری به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

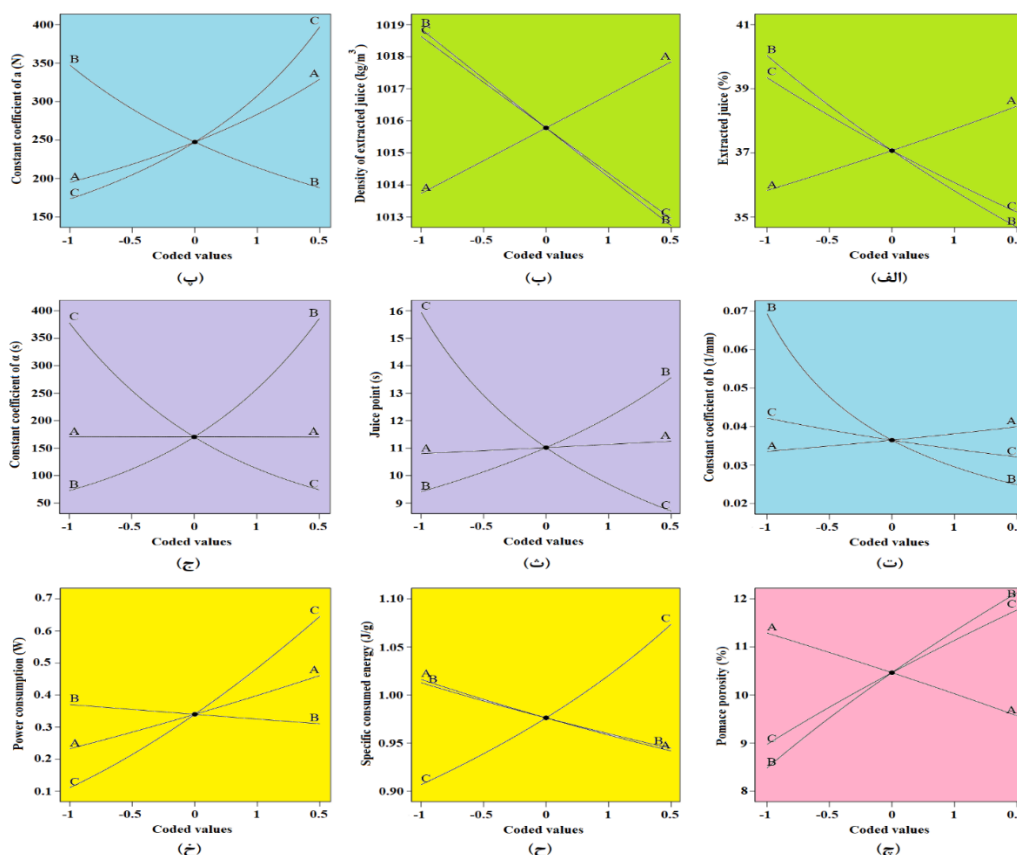
ضریب b در معادله ۱، لحظه شروع آگیری، ضریب ثابت α در معادله ۲، تخلخل نهایی تفاله، انرژی مصرفی ویژه و توان مصرفی در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به مشابه بودن رفتار تغییرات تخلخل نهایی و رطوبت نهایی تحت اثر متغیرهای مستقل، از ارائه نمودار مربوط به رطوبت نهایی تفاله خودداری شد.

طبق شکل ۲، با افزایش قطر سیلندر (A)، درصد آب‌میوه استخراج شده، چگالی آب‌میوه استحصالی، ضریب a در معادله ۱، ضریب b در معادله ۱ و توان مصرفی افزایش پیدا کردند. همچنین، با افزایش قطر سیلندر (A)، انرژی ویژه مصرفی و تخلخل نهایی تفاله (و رطوبت نهایی تفاله) کاهش پیدا کرد. طبق شکل ۲،

با توجه به اینکه سطوح متغیرها با هم متفاوت بودند، جهت معرفی این متغیرها به نرم‌افزار، سطوح مختلف متغیرها به صورت کد شده برای نرم‌افزار تعریف شدند. برای کد کردن متغیر ارتفاع لایه، پنج سطح ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ میلی‌متر به ترتیب برابر با ۱-، ۰/۵-، ۰، ۰/۵ و ۱ در نظر گرفته شدند. برای قطر سیلندر، پنج سطح ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ میلی‌متر به ترتیب برابر با ۱-، ۰/۵-، ۰، ۰/۵ و ۱ کدگذاری شدند. برای سرعت بارگذاری، پنج سطح ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب با کدهای ۱-، ۰/۵-، ۰، ۰/۵ و ۱ در نظر گرفته شدند. نمودار پراکندگی درصد آب‌میوه استخراج شده، چگالی آب‌میوه استحصالی، ضریب a در معادله ۱،

۱، تخلخل نهایی تفاله، انرژی ویژه مصرفی و توان مصرفی در اثر افزایش سرعت بارگذاری (C) مشاهده گردید. واضح است که به دلیل بیشتر بودن شیب خط ارتفاع لایه در نمودار پراکندگی نسبت به شیب خطوط دو متغیر دیگر، درصد آبمیوه استحصال، چگالی آبمیوه استحصال، ضریب b در معادله ۱، ضریب ثابت α در معادله ۲ و تخلخل نهایی تفاله مصرفی وابستگی بیشتری به تغییرات ارتفاع لایه دارند. همچنین، ضریب a در معادله ۱، لحظه شروع آگیری، انرژی ویژه مصرفی و توان وابستگی بیشتری به تغییرات سرعت بارگذاری دارند.

افزایش ارتفاع لایه (B) منجر به کاهش درصد آبمیوه استخراج شده (نمودار الف)، چگالی آبمیوه استحصال (نمودار ب)، ضریب a در معادله ۱ (نمودار پ)، ضریب b در معادله ۱ (نمودار ت)، انرژی ویژه مصرفی (نمودار ح) و توان مصرفی (نمودار خ) می شود. افزایش ارتفاع لایه (B) منجر به افزایش لحظه شروع آگیری (نمودار ث)، ضریب ثابت α در معادله ۲ (نمودار ج) و تخلخل نهایی (نمودار چ) تفاله گردید. همچنین، افزایش درصد آبمیوه استخراج شده، چگالی آبمیوه استحصال، ضریب b در معادله ۱، لحظه شروع آگیری و ضریب ثابت α در معادله ۲ و کاهش ضریب a در معادله



شکل ۲- تغییرات متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیرهای مستقل. در هر یک از نمودارها، منحنی های A نشان دهنده قطر سیلندر، منحنی های B نشان دهنده ارتفاع لایه و منحنی های C نشان دهنده سرعت بارگذاری هستند. الف) اثر متغیرهای مستقل بر درصد آبمیوه، ب) اثر متغیرهای مستقل بر چگالی آبمیوه، پ) اثر متغیرهای مستقل بر ضریب ثابت a، ت) اثر متغیرهای مستقل بر ضریب ثابت b، ث) اثر متغیرهای مستقل بر نقطه آبمیوه، ج) اثر متغیرهای مستقل بر ضریب ثابت α ، چ) اثر متغیرهای مستقل بر تخلخل تفاله، ح) اثر متغیرهای مستقل بر انرژی ویژه مصرفی، خ) اثر متغیرهای مستقل بر توان مصرفی.

Figure 2 - Changes in the dependent variables under the influence of independent variables. In each diagram, curves A represent the cylinder diameter, curves B represent the height of the layer, and curves C represent the loading speed. A) effect of independent variables on extracted juice, B) effect of independent variables on juice density, C) effect of independent variables on constant coefficient of a, D) effect of independent variables on constant coefficient of b, E) effect of independent variables on juice point, F) effect of independent variables on constant coefficient of α , G) effect of independent variables on pomace porosity, H) effect of independent variables on specific consumed energy, I) effect of independent variables on power consumption

کلیه این مدل‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و لذا به منظور پیش‌بینی مقدار هر یک از متغیرهای وابسته در محدوده تغییرات متغیرهای مستقل، می‌توان از مدل مربوطه با قابلیت اطمینان بالا استفاده نمود.

ضرایب ثابت مدل‌های خطی با اثرات متقابل دو عاملی مورد استفاده برای آنالیز واریانس کلیه متغیرهای وابسته در جدول ۷ ارائه شده‌اند. مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به این مدل‌ها شامل ضریب تغییرات، ضریب تبیین و انحراف معیار قبلاً ذکر شدند.

جدول ۷- ضرایب ثابت مدل‌های خطی با اثرات متقابل دو عاملی مورد استفاده برای آنالیز واریانس متغیرهای وابسته

Table 7- Fixed coefficients of linear models with two-factor interactions applied for the analyze of the variance of dependent variables

ضرایب ثابت معادله ۱۱								متغیرهای وابسته
β	a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	
-۰/۵	-۱/۳۶E-۷	۱/۴E-۷	۸/۸E-۸	۵/۹E-۶	۱/۴E-۶	-۱/۱E-۵	۹/۲E-۴	آب‌میوه استحصالی (درصد)
-۰/۳	-۲/۹E-۱۴	۵/۸E-۱۴	۲/۶E-۱۴	۹/۴E-۱۳	۵/۲E-۱۳	۲/۸E-۱۲	۱E-۹	چگالی آب‌میوه (kg.m ⁻³)
-۱/۴	۱/۲E-۵	۳/۴E-۵	-۱E-۵	-۲/۸E-۳	۴/۶E-۴	-۵/۵E-۴	۶/۴E-۲	ضریب a در معادله (۱)
-۱	-۹/۴E-۳	-۳/۶E-۲	۹E-۳	۲/۵	۰/۴	۱E-۲	-۴/۹	ضریب b در معادله (۱)
-۰/۶	۱/۴E-۵	۲/۱E-۶	۱E-۶	۲/۱E-۴	-۵/۶E-۴	-۱/۷E-۴	۴/۱E-۲	لحظه شروع آبیگری (s)
۲۰	-۲/۴E-۶	-۹/۱E-۶	۷/۱E-۶	-۳/۸E-۳	۱/۴E-۳	-۱/۶E-۴	۱/۲	ضریب α در معادله (۲)
۰/۳	-۱۸/۹	۲۲/۴	۱۳/۱	۵/۳E+۲	۸۴/۲	-۱/۶E+۳	۸/۶E+۴	محتوای رطوبت تفاله (درصد)
۰/۵	-۴E-۲	۲/۷E-۲	۲/۲E-۲	۲/۸	۸/۵E-۱	-۳/۲	۱/۴E+۲	درصد تخلخل تفاله (درصد)
۱/۵	-۹/۴E-۵	۳/۵E-۴	۲/۹E-۵	۷/۶E-۳	-۷/۴E-۴	۳E-۳	-۷/۵E-۲	توان مصرفی (وات)
-۰/۳	۵/۹۰E-۴	۴/۶E-۴	-۳/۳E-۴	-۷/۲E-۲	۰/۰۱	۱/۹E-۲	۰/۸	انرژی ویژه جذب شده

مصرفی صورت گرفت. نتایج مربوط به ۵ نقطه بهینه با قطر سیلندر متمایز در جدول ۸ ارائه شده است. به منظور صحت سنجی نتایج بهینه‌سازی انجام شده توسط نرم‌افزار، متغیرهای ورودی هر یک از نقاط پیشنهادی ارائه شده در جدول ۸ در سه تکرار مورد آزمون قرار گرفتند. در جدول ۸ میانگین نتایج به‌دست‌آمده برای صحت سنجی هر یک از نقاط پیشنهادی ۵ گانه ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در نقاط ۱، ۲ و ۵ میانگین درجه مطلوبیت محاسبه شده نسبت به درجه مطلوبیت مورد انتظار بالاتر بوده است. در کلیه موارد اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی نرم‌افزار و میانگین محاسبه شده از نتایج سه تکرار صحت سنجی کمتر از ۳ درصد است. طبق نتایج به‌دست‌آمده با کاهش قطر درجه مطلوبیت کاهش یافته و بیشینه درجه مطلوبیت قابل دستیابی برابر با ۰/۵۵ است. در این حالت با صرف ۰/۹ ژول بر گرم انرژی و ۰/۲ وات توان

پس از استخراج موفقیت‌آمیز مدل‌های پیش‌بینی رفتار تغییرات متغیرهای وابسته نسبت به متغیرهای مستقل، بهینه‌سازی فرایند استحصال آب زرشک به کمک نرم‌افزار Design Expert صورت پذیرفت. با توجه به اینکه قیمت واحد انرژی در مقایسه با قیمت واحد جرم آب‌میوه استحصالی حدود ۵۰ درصد است، ضریب وزنی درصد تولید آب‌میوه نسبت به انرژی ویژه دو برابر لحاظ گردید (ضریب ۴ برای درصد استحصال آب‌میوه و ضریب ۲ برای انرژی ویژه مصرفی). به دلیل اهمیت کاهش زمان بارگیری میوه در هر چرخه، و تناسب حجم بارگیری با شاخص ظرفیت، ضریب وزنی ۲ به شاخص ظرفیت اختصاص داده شد. همچنین، ضریب وزنی ۱ برای توان مصرفی در نظر گرفته شد. پس از اعمال ضرایب وزنی در رابطه ۱۰، بهینه‌سازی بر مبنای بیشینه شدن درصد آب‌میوه استخراجی، کمینه شدن انرژی ویژه، بیشینه شدن شاخص ظرفیت و کمینه شدن توان

مقدار استحصال آب میوه برابر با ۴۳/۵ درصد به دست آمد.

جدول ۸- نتایج پیش بینی نقاط بهینه در هر یک از سیلندرها توسط نرم افزار و صحت سنجی نقاط پیش بینی شده

Table 8- The data for the optimal points in each of the cylinders by software and validation of the predicted points

درجه مطلوبیت			توان مصرفی (وات)			انرژی ویژه (ژول بر گرم)			آب میوه استحصالی (درصد)			شاخص ظرفیت (cm ³ /s)	سرعت بارگذاری (میلی متر بر	ارتفاع لایه (میلی متر)	قطر سیلندر (میلی متر)
خطای مطلق (درصد)	صحت سنجی شده	پیش بینی نرم افزار	خطای مطلق (درصد)	صحت سنجی شده	پیش بینی نرم افزار	خطای مطلق (درصد)	صحت سنجی شده	پیش بینی نرم افزار	خطای مطلق (درصد)	صحت سنجی شده	پیش بینی نرم افزار				
۱/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۲	۰/۲	۰/۵	۰/۸	۰/۸	۰/۹	۴۳/۵	۴۳/۱	۱/۴	۹/۶	۳۲	۶۰
۱/۶	۰/۴	۰/۴	۲	۰/۱	۰/۲	۰/۷	۰/۹	۰/۹	۰/۸	۴۲/۳	۴۱/۹	۱/۱۹	۹/۲	۳۱	۵۵
-۲/۶	۰/۴	۰/۴	۲/۵	۰/۱	۰/۱	-۰/۲	۰/۹	۰/۹	-۱	۴۰/۶	۴۱	۰/۸	۸/۷	۳۰	۵۰
-۲/۹	۰/۳	۰/۳	-۱/۸	۰/۱	۰/۱	-۰/۷	۰/۹	۰/۹	-۱/۲	۴۰/۳	۴۰/۸	۰/۴	۷/۴	۲۵	۴۵
۱/۶	۰/۲	۰/۲	۱۲/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۴۳	۰/۹	۰/۹	۰/۷	۴۱/۵	۴۱/۲	۰/۲	۸	۱۵	۴۰

نتیجه گیری کلی

به دست آمد. اطلاعات به دست آمده از این مقاله می تواند برای بهینه سازی فرآیند استخراج آب زرشک با استفاده از دستگاه های فشار محوری موجود مفید باشد. به علاوه، از این نتایج می توان در تعیین شرایط بهینه کارکرد دستگاه آب میوه گیری استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان پژوهش حاضر کمال مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاری شرکت فروردین آزما تجهیز، دانشگاه تهران و دانشگاه محقق اردبیلی اعلام می دارند. همچنین، نویسندگان از همکاری آقایان مهندس امیرحسین میرزابه و مهندس امیرحسین اسدالله زاده در انجام داده برداری ها سپاسگزاری می نمایند. لازم به ذکر است، این اثر تحت حمایت مادی دانشگاه محقق اردبیلی برگرفته شده از طرح نوع دوم با عنوان «بررسی و بهینه سازی عوامل مختلف بر عملکرد روش فیلتر پرس به منظور طراحی و ساخت دستگاه آبیگری زرشک» انجام شده است.

هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

اولین گام در تولید محصولات بر پایه زرشک با توجه به استانداردهای بین المللی مواد غذایی، استخراج آب زرشک است. در مطالعه حاضر، روش فشار محوری، یکی از روش های رایج در استخراج آب میوه ها مورد استفاده قرار گرفت. این روش توانایی بیشتری برای کنترل کیفیت آب میوه نسبت به سایر روش ها دارد. اثرات ارتفاع لایه محصول، قطر سیلندر و سرعت بارگذاری بر سینتیک استخراج آب میوه و کلیه پارامترهای مربوطه مورد مطالعه و بهینه سازی قرار گرفتند. آزمایش ها بر مبنای روش سطح پاسخ و در قالب طرح مرکب مرکزی (Central Composite Design) با ۵ تکرار در نقطه مرکزی و ۲۰ نقطه اضافی انجام شد. نتایج حاصل از بهینه سازی نشان داد که با در نظر گرفتن قطر سیلندر برابر با ۶۰ میلی متر، ارتفاع لایه برابر با ۳۲ میلی متر و سرعت بارگذاری برابر با ۹/۶ میلی متر بر دقیقه و با صرف ۰/۸۹۸ ژول بر گرم انرژی می توان ۴۳/۵۵ درصد آب میوه را استخراج نمود. همچنین، در کلیه موارد اختلاف بین مقادیر پیش بینی نرم افزار و میانگین محاسبه شده از نتایج سه تکرار صحت سنجی کمتر از ۳ درصد بوده و بیشینه درجه مطلوبیت قابل دستیابی برابر با ۰/۵۵

فهرست نمادها

نماد	تعریف	واحد	نماد	تعریف	واحد
a	ضریب ثابت در معادله (۱)	N	$P(t)$	تخلخل لحظه‌ای	درصد
A_0	سطح مقطع سیلندر	mm^2	P_M	توان مصرفی	W
a_i	ضرایب ثابت معادله (۱۱)	-	P_{M-max}	توان مصرفی بیشینه در آزمایش‌ها	W
b	ضریب ثابت در معادله (۱)	$l.mm^{-1}$	P_{M-min}	توان مصرفی کمینه در آزمایش‌ها	W
D_C	قطر سیلندر محفظه آبیگری	mm	P_{M-P}	توان مصرفی مورد نظر در بهینه‌سازی	W
E_C	انرژی اعمال شده توسط پیستون به توده محصول	J	R_L	سرعت بارگذاری	$mm.min^{-1}$
E_{sp}	انرژی ویژه مصرفی	$J.g^{-1}$	t	زمان	s
E_{sp-max}	انرژی ویژه مصرفی بیشینه در آزمایش‌ها	$J.g^{-1}$	T_j	لحظه شروع آبیگری	s
E_{sp-min}	انرژی ویژه مصرفی	$J.g^{-1}$	T_L	مدت زمان بارگذاری	s
E_{sp-P}	انرژی ویژه مصرفی مورد نظر در بهینه‌سازی	$J.g^{-1}$	T_R	مدت زمان آسایش تنش	s
F	نیروی وارد بر توده محصول کمینه در آزمایش‌ها	N	T_T	مدت زمان کل آزمون	s
H	ارتفاع لایه توده محصول	mm	V_i	حجم اولیه توده میوه‌ها	mm^3
I_E	درجه اهمیت انرژی ویژه مصرفی	-	α	ضریب ثابت در معادله (۲) و (۳)	s
I_J	درجه اهمیت مقدار آب میوه استحصال شده	-	β	ضریب ثابت در معادله (۱۱)	-
I_P	درجه اهمیت توان مصرفی	-	δ	جابجایی	mm
I_{ω}	درجه اهمیت شاخص ظرفیت	-	ρ_b	چگالی توده تفاله	$kg.m^{-3}$
J_P	مقدار نهایی آب میوه استحصال شده در هر تیمار	درصد	ρ_j	چگالی آب میوه	$kg.m^{-3}$
j_P	مقدار لحظه‌ای آب میوه استحصال شده	درصد	ρ_p	چگالی واقعی تفاله	$kg.m^{-3}$
J_{P-max}	مقدار بیشینه آب میوه استحصال شده در آزمایش‌ها	درصد	$\rho_{p,i}$	چگالی واقعی اولیه برای میوه	$kg.m^{-3}$
J_{P-min}	مقدار کمینه آب میوه استحصال شده در آزمایش‌ها	درصد	ω	شاخص ظرفیت	$cm^4.s^{-1}$
J_{P-P}	مقدار آب میوه استحصال شده مورد نظر در بهینه‌سازی	درصد	ω_{max}	شاخص ظرفیت بیشینه در آزمایش‌ها	$cm^4.s^{-1}$
M_i	جرم اولیه توده میوه	g	ω_{min}	شاخص ظرفیت کمینه در آزمایش‌ها	$cm^4.s^{-1}$
m_j	جرم لحظه‌ای آب میوه استحصال شده	g	ω_p	شاخص ظرفیت مورد نظر در بهینه‌سازی	$cm^4.s^{-1}$
M_j	جرم نهایی آب میوه استحصال شده در هر تیمار	g	ξ	درجه مطلوبیت (رضایت بخشی)	-

REFERENCES

- Alavi, N., & Mazlounzadeh, S. M. (2012). Effect of harvesting and drying methods of seedless barberry on some fruit quality. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(1), 51–55.
- Amdoun, R., Khelifi, L., Khelifi-Slaoui, M., Amroune, S., Asch, M., Assaf-Ducrocq, C., & Gontier, E. (2018). The desirability optimization methodology; a tool to predict two antagonist responses in biotechnological systems: case of biomass growth and hyoscyamine content in elicited datura

- starmonium hairy roots. *Iranian Journal of Biotechnology*, 16(1), 11–19.
- Asemani, S., Montazeri, V., Baradaran, B., Tabatabaiefar, M. A., & Pirouzpanah, S. (2018). The effects of *Berberis vulgaris* juice on insulin indices in women with benign breast disease: a randomized controlled clinical trial. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 17(Suppl), 110.
- Ashraf, H., Zare, S., & Farnad, N. (2013). The effect of aqueous extract of barberry fruit on liver damage in streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Shahrekord University of Medical Sciences*, 15.
- Bhalekar, S. D. (2019). Design and Fabrication of Pneumatic Operated Juice Extract Machine.
- Corzo, O., & Gomez, E. R. (2004). Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering*, 64(2), 213–219.
- De Pasquale, C., Catania, P., & Vallone, M. (2017). Influence of the Pressing System on Pomegranate Juice Physical-Chemical Properties. *Chemical Engineering Transactions*, 58, 433–438.
- Dinesha, D. T., Ramachandra, C. T., & Uday kumar Nidoni, S. (2019). Performance evaluation of roller type aloe vera gel extraction machine. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), 1987–1992.
- Emamat, H., Zahedmehr, A., Asadian, S., Tangestani, H., & Nasrollahzadeh, J. (2020). Effect of barberry (*Berberis vulgaris*) consumption on blood pressure, plasma lipids, and inflation in patients with hypertension and other cardiovascular risk factors: study protocol for a randomized clinical trial. *Trials*, 21(1), 1–9.
- Eroğlu, A. Y., Çakır, Ö., Sağdıç, M., & Dertli, E. (2020). Bioactive Characteristics of Wild *Berberis vulgaris* and *Berberis crataegina* Fruits. *Journal of Chemistry*, 2020.
- Fatehi, M., Saleh, T. M., Fatehi-Hassanabad, Z., Farrokhfal, K., Jafarzadeh, M., & Davodi, S. (2005). A pharmacological study on *Berberis vulgaris* fruit extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 102(1), 46–52.
- Formato, A., Ianniello, D., Romano, R., Pellegrino, A., & Vilecco, F. (2019). Design and development of a new press for grape marc. *Machines*, 7(3), 51.
- Golmohammadi, F., & Motamed, M. K. (2012). A viewpoint toward farm management and importance of barberry in sustainable rural livelihood in desert regions in east of Iran. *African Journal of Plant Science*, 6(7), 213–221.
- Gundogdu, M. (2013). Determination of antioxidant capacities and biochemical compounds of *Berberis vulgaris* L. fruits. *Advances in Environmental Biology*, 7(2), 344–348.
- Hadi, A., Arab, A., Ghaedi, E., Rafie, N., Miraghajani, M., & Kafeshani, M. (2019). Barberry (*Berberis vulgaris* L.) is a safe approach for management of lipid parameters: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 43, 117–124.
- Harati Farzaghi, M., Sharifi, A., & Estiri, H. (2017). Optimization of the production process of functional gummy candy from the barberry fruit based on the response surface method. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 9(1), 125–137.
- Hassanpour, H., & Alizadeh, S. (2016). Evaluation of phenolic compound, antioxidant activities and antioxidant enzymes of barberry genotypes in Iran. *Scientia Horticulturae*, 200, 125–130.
- Imenshahidi, M., & Hosseinzadeh, H. (2016). *Berberis vulgaris* and berberine: an update review. *Phytotherapy Research*, 30(11), 1745–1764.
- Imenshahidi, M., & Hosseinzadeh, H. (2019). Berberine and barberry (*Berberis vulgaris*): A clinical review. *Phytotherapy Research*, 33(3), 504–523.
- Javadzadeh, M., & Ebrahimi, A. (2013). The traditional uses and pharmacological effects of different parts *Berberis Vulgaris* (berberine) in Iran. *Sci Agric*, 1(2), 61–66.
- Kafi, M., Balandary, A., Rashed-Mohasel, M. H., Koochaki, A., & Molafilabi, A. (2002). Berberis: production and processing. *Zaban va Adab Press, Iran*, 1–209.
- Khazaei, J., Massah, J., & Mansouri, G. H. (2008). Effect of some parameters of air-jet on pneumatic extraction of citrus juice and juice sacs. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 388–398.

- Končić, M. Z., Kremer, D., Karlović, K., & Kosalec, I. (2010). Evaluation of antioxidant activities and phenolic content of *Berberis vulgaris* L. and *Berberis croatica* Horvat. *Food and Chemical Toxicology*, 48(8–9), 2176–2180.
- Latif, S., Romuli, S., Barati, Z., & Müller, J. (2020). CFD assisted investigation of mechanical juice extraction from cassava leaves and characterization of the products. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3089–3098.
- Lazavi, F., Mirmiran, P., Sohrab, G., Nikpayam, O., Angoorani, P., & Hedayati, M. (2018). The barberry juice effects on metabolic factors and oxidative stress in patients with type 2 diabetes: a randomized clinical trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 31, 170–174.
- Michael, U. O., Bamidele, O. B., & Aromuegbe, I. P. (2018). Fabrication and testing of a manually operated citrus juice extracting machine. *Indian Journal of Engineering*, 15, 111–116.
- Mirzabe, A. H., Hajiahmad, A., & Asadollahzadeh, A. H. (2021). Extracting barberry juice: Mathematical models describing loading stage, stress-relaxation behavior, and momentary juice mass. *Journal of Food Process Engineering*, 44(8).
- Moreira, S. A., Pintado, M. E., & Saraiva, J. A. (2021). Effect of a winter savory leaf extract obtained using high hydrostatic pressure on the quality of carrot juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(1), 74–81.
- Mushtaq, M. (2018). Extraction of fruit juice: An overview. In *Fruit juices* (pp. 131–159). Elsevier.
- Odewole, M. M., Falua, K. J., Adebisi, S. O., & Abdullahi, K. O. (2018). Development and Performance Evaluation of a Manually-Operated Multipurpose Fruit Juice Extractor. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, 3(1).
- OO Martins, B. O., & OH Adeyemi, O. M. (2018). Design and Construction of a Motorized Citrus Juice Extractor.
- Pei, L., Hou, S., Wang, L., & Chen, J. (2018). Effects of high hydrostatic pressure, dense phase carbon dioxide, and thermal processing on the quality of Hami melon juice. *Journal of Food Process Engineering*, 41(6), e12828.
- Rahimi-Madiseh, M., Lorigoini, Z., Zamani-Gharaghoshi, H., & Rafieian-Kopaei, M. (2017). *Berberis vulgaris*: specifications and traditional uses. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 20(5), 569.
- Rao, M. A., & Cooley, H. J. (1992). Role of cultivar and press aid in pressing characteristics and juice yields of crushed grapes. *Journal of Food Process Engineering*, 15(1), 65–79.
- Safari, Z., Farrokhzad, A., Ghavami, A., Fadel, A., Hadi, A., Rafiee, S., ... Askari, G. (2020). The effect of barberry (*Berberis vulgaris* L.) on glycemic indices: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 102414.
- Sreedevi, P., & Rao, P. S. (2018). Microbial destruction kinetics of high-pressure-processed sugarcane juice (*Saccharum officinarum*). *Journal of Food Process Engineering*, 41(7), e12850.
- Talebi, S., Alizadeh, M., Ramezanzpour, S., & Ghasemnejad, A. (2020). The antioxidant properties of some endemic barberry genotypes of Iran. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(1), 91–107.
- Tsarouhas, P. H., & Arvanitoyannis, I. S. (2010). Assessment of operation management for beer packaging line based on field failure data: A case study. *Journal of Food Engineering*, 98(1), 51–59.
- Tsarouhas, P. H., & Arvanitoyannis, I. S. (2011). Quantitative analysis for peach production line management. *Journal of Food Engineering*, 105(1), 28–35.
- Valipoor Motlagh, N., Hamed Mosavian, M. T., Mortazavi, S. A., & Tamizi, A. (2012). Beneficial Effects of Polyethylene Packages Containing Micrometer-Sized Silver Particles on the Quality and Shelf Life of Dried Barberry (*Berberis vulgaris*). *Journal of Food Science*, 77(1), E2–E9.
- Wilczyński, K., Kobus, Z., & Dziki, D. (2019). Effect of Press Construction on Yield and Quality of Apple Juice. *Sustainability*, 11(13), 3630.